



ESTIMACIÓN DE LA RECARGA HÍDRICA DE LOS ACUÍFEROS DEL
VALLE DEL PATÍA Y DE LA ZONA NORTE DEL DEPARTAMENTO DEL
CAUCA - COLOMBIA

YEYSON F. URIBE GUERRERO
JEAN P. LEPINEUX RAMIREZ

UNIVERSIDAD DEL VALLE
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE LOS RECURSOS NATURALES Y DEL MEDIO AMBIENTE
CALI- VALLE

2015

ESTIMACIÓN DE LA RECARGA HÍDRICA DE LOS ACUÍFEROS DEL VALLE DEL
PATÍA Y DE LA ZONA NORTE DEL DEPARTAMENTO DEL CAUCA – COLOMBIA

YEYSON F. URIBE GUERRERO
JEAN P. LEPINEUX RAMIRZ

Tesis de investigación presentada como requisito parcial para optar al título de:

INGENIERO AGRÍCOLA

Director
NORBERTO URRUTIA COBO
Ingeniero agrícola, MSc. PhD.

UNIVERSIDAD DEL VALLE
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE LOS RECURSOS NATURALES Y DEL MEDIO AMBIENTE
CALI- VALLE

2015

Nota de aceptación

Director

Jurado 1

Jurado 2

DEDICATORIA

Este proyecto de investigación es la última etapa, después de varios años de estudio, trabajo y dedicación. Este resultado lo he logrado con el asesoramiento y apoyo de mi familia y de personas que conocí durante el camino, por lo que quiero darles las gracias y dedicárselo:

A Dios que todos los días me llena de bendiciones y me dio las fuerzas para seguir adelante, a mi Madre Benilda y mi hermano Oscar que siempre estuvieron ahí, orientándome y brindándome su apoyo incondicional, esto no hubiera sido posible sin ustedes. A mi hermanito Jhonny y mi padre Ciro que desde el cielo me están cuidando y fueron un ejemplo y mis modelos a seguir. A mi esposa Yubeimi por sus consejos y apoyo, porque siempre ha estado presente en las buenas y en las malas, para escucharme y entenderme.

A mi compañero y amigo Jean Paul por los buenos momentos juntos y por la colaboración y culminación de este proyecto.

Yeison F. Uribe Guerrero

A mi padre Carlos, por sus consejos en el momento oportuno y por sus regaños cariñosos buscando siempre guiar mi accionar, a mi madre Deyanira por ser inspiración y guía en todos los aspectos de mi vida por su amor incondicional, a Laura, mi hermana, alcahueta que siempre al igual que mi padre se preocupa por todos los detalles buscando lo mejor para mí

A mis amigos y compañeros que enriquecieron con su compañía este proceso largo de aprendizaje, a todos ellos admiración y bendiciones por ser excelentes personas y por amenizar todos estos años de pregrado. Agradecer a la fuerza creadora del universo, Dios, que hace posible que todo fluya de la manera indicada y que nos brindó la sabiduría y la fuerza necesaria para concluir satisfactoriamente esta importante etapa de nuestra vida.

Jean P. Lepineux Ramírez

A todos nuestros amigos y compañeros que a lo largo de toda esta travesía estuvieron apoyándonos y darnos los mejores consejos para no desfallecer; Johan, Diego, Paola, Ricardo, Sebastián, Daniela, Hugo, Nicolás, Oscar, Marcela, Rodrigo, Ronald, Marcelo, Paulo, Luis Edson, Alexander, Vanessa, Miguel, Andrés, Nilton, Javier y a todos los que no nombramos pero igual hicieron que este tiempo fuera inolvidable.

“La preocupación por el hombre y su destino siempre debe ser el interés primordial de todo esfuerzo técnico. Nunca olvides esto entre tus diagramas y ecuaciones. A.E”

Yeison F. Uribe y Jean P. Lepineux

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a la Universidad del Valle y a todos los integrantes del grupo de investigación REGAR por permitirnos trabajar y colaborarnos con este trabajo.

Al profesor Norberto Urrutia por brindarnos la oportunidad de realizar este trabajo bajo su tutoría, por todo el tiempo y la dedicación prestada.

Al profesor Andrés Echeverri por su colaboración supervisión y consejos. Al ingeniero agrícola Cristian Fernando Pérez por su colaboración y tiempo.

Al profesor Arbey Arias Rojas y al interventor Fabián Ulises Barrosos por ayudarnos y orientarnos en la realización de este trabajo.

A la Corporación Autónoma regional del Cauca (CRC) por financiar y facilitar la realización de este trabajo.

Por último, pero no menos importantes a todos los campesinos y cultivadores de los municipios y veredas del Patía y del norte del Cauca, por su gran trabajo, por la colaboración y la amabilidad con que nos recibieron.

CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN	14
2. OBJETIVOS	16
2.1 General	16
2.2 Específicos	16
3. MARCO TEÓRICO	17
3.1 Fenómenos ambientales	17
3.1.1 Fenómeno del niño	17
3.1.2 Fenómeno de la niña	17
3.2 Balance hídrico.....	18
3.2.1 Precipitación.....	19
3.2.2 Evapotranspiración.....	20
3.2.3 Infiltración.....	24
3.2.4 Escorrentía.....	25
3.2.5 Agua de riego	26
3.3 Propiedades hidrodinámicas del suelo	26
3.3.1 Capacidad de campo (CC).....	26
3.3.2 Punto de marchitez permanente (PMP).....	27
3.4 Propiedades Físicas del suelo	27
3.4.1 Densidad aparente	27
3.5 Sistemas de información geográfica (SIG)	28
3.5.1 Definición.....	28
3.5.2 Formato Ráster	30
3.5.3 Formato Vector	30
3.5.4 Métodos de interpolación	31
3.6 Manejo de información climática.....	34
3.6.1 Estimación de datos faltantes	34
3.6.2 Análisis de confiabilidad.....	35
4. METODOLOGIA	36
4.1 Localización y límites geológicos	36
4.1.1 Municipio del Patía	36
4.1.2 Norte del Departamento del Cauca	37
4.1.3 Localización geográfica y límites geológicos	38
4.2 Recopilación y análisis de información secundaria	39
4.3 Uso de los suelos.....	39
4.4 Variables hidrológicas.....	39

4.4.1 Precipitación.....	39
4.4.2 Evapotranspiración potencial	41
4.4.3 Evapotranspiración Real	42
4.4.4 Escorrentía.....	43
4.4.5 Recarga por agua de riego	43
4.5 Balance hídrico (Infiltración)	45
4.6 Recarga natural a los acuíferos.....	46
4.7 Balance hídrico con años de incidencia del fenómeno del niño.....	47
5. RESULTADOS Y ANÁLISIS	49
5.1 Uso de suelos.....	49
5.1.1 Valle del Patía	49
5.1.2 Norte del Departamento del Cauca	49
5.2 Cuencas del Departamento del Cauca	50
5.3 Variables hidrológicas.....	52
5.3.1 Precipitación.....	52
5.3.2 Evapotranspiración potencial	55
5.3.3 Evapotranspiración real.....	58
5.3.4 Escorrentía.....	60
5.3.5 Recarga por agua de riego	63
5.4 Balance hídrico (infiltración)	64
5.5 Recarga natural a los acuíferos.....	68
5.6 Balance con años de incidencia del fenómeno del niño	72
5.6.1 Balance hídrico (Infiltración)	72
5.6.2 Recarga natural a los acuíferos en año niño	78
6. CONCLUSIONES	79
7. RECOMENDACIONES	81
8. BIBLIOGRAFIA.....	82
ANEXO I. INFORMACIÓN HIDROCLIMATOLOGICA	86
ANEXO II CÁLCULOS TEMPORALES DE PRECIPITACIÓN.....	89
ANEXO III. CALCULOS ADICIONALES DE EVT	93
ANEXO IV. MAPAS DE ANÁLISIS TEMPORAL DE LOS BALANCES HÍDRICOS	95
ANEXO V. MAPAS DE ANALISIS BALANCE HÍDRICO EN AÑOS NIÑO	107

LISTA DE TABLAS

Tabla 1 Relación entre tipo de suelo, CC Y PMP	27
Tabla 2 Uso actual del suelo en el Valle del Patía	49
Tabla 3 Uso actual del suelo en el Norte del Departamento del Cauca	50
Tabla 4 Área de las cuencas en el Departamento del Cauca	51
Tabla 5 Subcuencas de estudio pertenecientes a la cuenca Alto Cauca	52
Tabla 6 Precipitación con probabilidad de excedencia del 50% y 75%. Valle del Patía	53
Tabla 7 Precipitación con probabilidad de excedencia del 50%. Subcuencas de interés hídrico ubicadas en el Norte del Departamento del Cauca.....	54
Tabla 8 Precipitación con probabilidad de excedencia del 75%. Subcuencas de interés hídrico ubicadas en el Norte del Departamento del Cauca.....	55
Tabla 9 Evapotranspiración Potencial – Eto. Método del Tanque Evaporímetro clase A	55
Tabla 10 Evapotranspiración Potencial - Eto. Método del Tanque Evaporímetro clase A.	57
Tabla 11 Determinación del Kc ponderado, Valle del Patía.	58
Tabla 12 Evapotranspiración Real (mm/mes). Valle del Patía.....	59
Tabla 13 Determinación del Kc ponderado. Norte del Departamento del Cauca	59
Tabla 14 Evapotranspiración Real. Subcuencas ubicadas en norte del Departamento del Cauca	60
Tabla 15 Caudal mensual multianual. Valle del Patía (m ³ /s)	60
Tabla 16 Caudales medios mensuales multianuales (m ³ /s).....	62
Tabla 17 Caudal mensual multianual del Norte del Departamento del Cauca (m ³ /s)	62
Tabla 18 Recarga por agua de riego. Valle del Patía	63
Tabla 19 Recarga por agua de riego. Norte del Departamento del Cauca.....	64
Tabla 20 Balance hídrico y cálculo de infiltración del Valle del Patía	65
Tabla 21 Balance hídrico y cálculo de infiltración del norte del Departamento del Cauca	66
Tabla 22 Determinación variación del contenido de humedad en el suelo.	68
Tabla 23 Recarga al acuífero del Valle del Patía con probabilidad de excedencia de 50% y 75% ...	69
Tabla 24 Determinación variación del contenido de humedad en el suelo.	70
Tabla 25 Recarga al acuífero del Norte del departamento del Cauca con probabilidad de excedencia de 50% y 75%	72
Tabla 26 Precipitación con probabilidad de excedencia del 50% y 75 % en años niño. Valle del Patía.....	72
Tabla 27 Evapotranspiración real en años niños. Valle del Patía.....	72
Tabla 28 Estimación de Caudales en años niños. Valle del Patía	73
Tabla 29 Balance hídrico con años niño. Valle del Patía.....	73

Tabla 30 Precipitación con probabilidad de excedencia del 50% y 75 % en años niño. Norte del Departamento del Cauca	74
Tabla 31 Evapotranspiración real en años niños. Norte del Departamento del Cauca.....	75
Tabla 32 Estimación de Caudales en años niños. Norte del Departamento del Cauca	75
Tabla 33 Balance hídrico con años de ocurrencia del fenómeno del niño con excedencia de precipitación del 50%. Norte del Departamento del Cauca	76
Tabla 34 Balance hídrico con años de ocurrencia del fenómeno del niño con excedencia de precipitación del 75%. Norte del Departamento del Cauca	77
Tabla 35 Recarga al acuífero con precipitación en años niño. Valle del Patía.....	78
Tabla 36 Recarga al acuífero con precipitación en años niño. Norte del Departamento del Cauca..	78

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Formación de la precipitación en las nubes	20
Figura 2 Componentes de un SIG	29
Figura 3 Estructura Ráster.....	30
Figura 4 Primitivas geométricas en el modelo de representación vectorial	31
Figura 5 Vecindad del IDW del punto seleccionado.....	32
Figura 6 Cálculo de la diferencia cuadrada entre las ubicaciones asociadas	33
Figura 7 Valle del Patía, Departamento del Cauca	36
Figura 8 Zona norte del Cauca, Departamento del Cauca.....	37
Figura 9 Ubicación de la provincia hidrogeológica de norte del Cauca – Valle del Patía	38
Figura 10 Diagrama para la elaboración de mapa de precipitación	41
Figura 11 Diagrama para la elaboración de mapa de EVT	41
Figura 12 Diagrama para la elaboración de mapa de EVR	42
Figura 13 Diagrama de proceso para la recarga por agua de riego al acuífero	45
Figura 14 Diagrama del Balance hídrico para los años de incidencia del fenómeno del niño	48

LISTA DE GRAFICAS

Grafica 1 Precipitación con probabilidad de excedencia del 50 % y 75 %. Valle del Patía.....	53
Grafica 2 Precipitación con probabilidad de excedencia del 50 % y 75 %. Zona norte del Departamento del Cauca	54
Grafica 3 Distribución temporal de la evapotranspiración potencial en la cuenca Patía. Método del tanque evaporímetro clase A.	56
Grafica 4 Distribución temporal de la evapotranspiración potencial en la zona norte del departamento del Cauca. Método del tanque evaporímetro clase A.	57
Grafica 5 Caudal mensual multianual del Valle del Patía (m^3/s)	61
Grafica 6 Caudal mensual multianual del Norte del Departamento del Cauca (m^3/s)	63

LISTAS DE ABREVIATURAS

Abreviatura	Significado
CRC	Corporación Autónoma regional del Cauca.
FAO	Organización para la alimentación y la agricultura.
EIDENAR	Escuela de Ingeniería de los recursos Naturales y del Ambiente.
REGAR	Gestión Integral del riego para el Desarrollo Agrícola y la Seguridad Alimentaria.
PDM	Plan de desarrollo municipal de Patía Cauca.
USCS	Science for a Changing Word.
DANE	Departamento Administrativo Nacional de Estadística.
ANH.	Agencia nacional de hidrocarburo.
IDEAM	Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia.
SIG	Sistemas de Información Geográfica.
SIAC	Sistema de Información Ambiental de Colombia.

RESUMEN

El agua es el recurso esencial para la mayoría de las formas de vida. Sin embargo, estudios de la FAO estiman que uno de cada cinco países en vías de desarrollo tendrá problemas de escasez de agua antes de 2030; en esos países es vital un menor gasto de agua. Es así como las aguas subterráneas se convierten en un recurso muy importante, debido a que es la única fuente de abastecimiento de agua aprovechable en lugares donde hay un gran déficit de agua superficial.

Este trabajo presenta la aplicación de un modelo basado en un balance hídrico con el objetivo del estimar la recarga hídrica de los acuíferos que se encuentran ubicados en dos zonas del departamento del Cauca, en Colombia: el valle del Patía y la zona norte.

Para dicho balance se tuvieron en cuenta los datos climatológicos de 71 estaciones, de las cuales 46 son pertenecientes a la zona norte del Departamento del Cauca, mientras que las 25 restantes son de la zona del Patía. Cada variable se analizó a nivel mensual para luego proceder a realizar el análisis espacial de cada una de las variables que suministraron las estaciones tenidas en cuenta para el estudio y de esta manera sacar los datos más relevantes a la hora de realizar el balance final.

Se utilizó un sistemas de información geográfica (SIG); en el cual se generaron isolineas mediante el método de interpolación de Kriging, pudiendo definir así el valor de la recarga a los acuíferos de las dos zonas de estudio.

De acuerdo con la modelación realizada para las áreas de estudio, se encontró que en la zona del Valle del Patía, la infiltración es la variable que más aporta a la recarga del acuífero, con un 87% de la recarga teniendo una excedencia en la precipitación del 50%. Mientras que para una excedencia del 75%, se encontró que la recarga del acuífero era un 52%.

En el área correspondiente a la zona norte del Departamento del Cauca, la recarga es del 90%, teniendo una excedencia en la precipitación del 50% y un 55% si se considera una precipitación de excedencia del 75%.

Palabras claves:

Balance hídrico, Recarga, SIG, Precipitación

1. INTRODUCCIÓN

El agua es tal vez el recurso natural más importante que existe en el planeta, ya que es ampliamente conocido por todos que gracias a este precioso líquido es posible la vida de todas las especies. El crecimiento acelerado de las poblaciones y todo lo que dicho crecimiento conlleva social, política y económicamente, hacen necesario buscar nuevas fuentes de abastecimiento de agua para así poder garantizar el suministro de la misma a los lugares en los cuales sea requerida.

Es así como las aguas subterráneas se convierten en un recurso muy importante, debido a que es la única fuente de abastecimiento de agua aprovechable en lugares donde hay un gran déficit de agua superficial. Posee un gran número de ventajas, como una excelente calidad natural, pues en general es libre de patógenos, de color y de turbiedad y puede ser consumida directamente, sin tratamiento o después de realizarse un tratamiento sencillo (Vélez *et al.*, 2005).

Por este motivo la provincia norte del Departamento del Cauca y el Valle del Patía son de gran importancia para el Departamento y requieren el uso del agua subterránea. Estas zonas se caracterizan por fundamentar su economía en la producción agrícola, ganadera, en la actividad pesquera, la industria y la explotación forestal. Todos estos sectores contribuyen al desarrollo de la región para brindar una buena seguridad a sus habitantes.

El departamento del Cauca está situado en la zona sur-occidental de Colombia y hace parte de las regiones Andina, Pacífica y Amazónica, con una superficie aproximada de 29.308 Km², equivalente al 2.7% del país y es el doceavo departamento en extensión, con una población de 1.268.937 habitantes. El 39.9% de la población se ubica en la zona urbana y el 60.1% en la zona rural; según el censo del 2005 (PDM, 2012).

En el año 1997, como parte integrante del mapa hidrográfico de América del Sur, el Instituto Nacional de Investigaciones Geológico – Mineras, elaboró el primer mapa hidrogeológico nacional. El estudio de Plan Patía (1993) elaboró un mapa hidrológico para la región, determinando las áreas potencialmente acuíferas, la calidad química y regiones con vacíos en la información. Con el fin de promover el desarrollo agrícola y abastecer de agua potable a los pobladores del Valle del Patía, la Corporación Autónoma Regional del Cauca (C.RC) e INGEOMINAS determinaron 137 puntos de agua, de los cuales 122 son aljibes y 3 pozos, los cuales abastecen de agua para consumo doméstico y de animales, también la irrigación de cultivos pequeños (pastos). Además la cuantificación de aguas subterráneas según los estudios anteriores, reportan que hay reservas de este recurso lo que amerita fomentar su explotación con el fin de aprovecharlo (CRC, 2012).

Debido a la gran importancia que tienen la zona norte del Departamento del Cauca y el Valle del Patía para la economía de la región y del Departamento, se propuso realizar un estudio que determinara la recarga hídrica de los acuíferos de las dos zonas de interés, buscando brindar una estimación de la oferta hídrica superficial, para que de esta manera se puedan crear acciones de aprovechamiento y conservación sostenible de los acuíferos que allí se encuentran localizados; además de crear alternativas viables para el uso de las aguas subterráneas en la región y de esta manera contribuir a generar un impacto positivo en la economía de los habitantes de la misma, para así alcanzar un mejoramiento significativo de la calidad de vida en las comunidades que allí habitan.

Por lo que para este estudio se realizó un análisis de las variables climatológicas propuestas para un balance hídrico. Como primera medida, se analizaron y completaron los datos de precipitación para así calcularla una probabilidad de excedencia de 50% y 75% respectivamente. Paralelo a esta actividad se analizaron y calcularon los datos de evapotranspiración potencial por tres métodos diferentes para obtener el que mejor se ajustara al balance propuesto, se determinó que el método del tanque evaporímetro era el más indicado para el estudio. Posteriormente se evaluaron y zonificaron los coeficientes de los cultivos (K_c) de las zonas de interés, para la corrección de la evapotranspiración potencial y así obtener la evapotranspiración Real de las zonas de estudio. A continuación, se analizaron los datos de caudales de las estaciones hidrométricas de las zonas para obtener el aporte por escorrentía superficial y por último se adicionó la variable de recarga por agua de riego.

Se pretendió asociar las variables mencionadas en un balance hídrico que permitiera obtener la infiltración y así poder generar una estimación de la recarga a los acuíferos de las zonas de estudio, tanto en un periodo de tiempo en condiciones climatológicas normales como en condiciones con alteraciones en la precipitación (fenómeno del niño), todas las variables se interpretaron mediante el uso de sistemas de información geográficas (SIG).

Esta investigación está apoyada por el grupo de investigación Regar de la Universidad del Valle y se realizó como un aporte adicional al estudio realizado por la C.R.C en convenio con la Universidad del Valle (Diagnóstico de la oferta y demanda hídrica del acuífero del Norte del Departamento del Cauca y Valle del Patía. Convenio interadministrativo 0330 de 2013).

2. OBJETIVOS

2.1 General

Estimar la recarga hídrica de los acuíferos del Valle del Patía y de la zona norte del Departamento del Cauca - Colombia.

2.2 Específicos

- Determinar la variación espacial y temporal mensual de la precipitación en el Valle del Patía y de la zona norte del Departamento del Cauca.
- Determinar la Evapotranspiración real mensual en el Valle del Patía y en la zona norte del Departamento del Cauca.
- Determinar la esorrentía superficial mensual en el Valle del Patía y en la zona norte del Departamento del Cauca.
- Determinar la recarga mensual de los acuíferos en el Valle del Patía y en la zona norte del Departamento del Cauca.

3. MARCO TEÓRICO

3.1 Fenómenos ambientales

El cambio climático es uno de los problemas centrales de nuestro siglo, el cual se ha agravado en todo el mundo en los últimos años. Nuevas y crecientes evidencias del efecto de las interacciones del hombre con el medio ambiente y el sistema energético se revelan en forma de fenómenos que amenazan con cambiar los patrones climáticos de la tierra, con efectos importantes sobre los ecosistemas, la economía, la sociedad e incluso sobre propia sobrevivencia de la especie humana (Lordemann, *et al.*, 2009).

Además, se dice que en la región latinoamericana es heterogéneo en lo que se refiere a clima y ecosistemas. Los cambios de uso de tierra son las principales fuerzas y causas de cambios del ecosistema.

3.1.1 Fenómeno del niño

El fenómeno “El Niño” es el resultado de la alteración de las características físicas del Océano Pacífico Tropical en particular y de la Atmósfera Global, que en su etapa madura se muestra como una invasión de aguas cálidas desde el Oeste hacia las costas americanas, cuyos efectos pueden ser severos en el clima, en los ecosistemas y con consecuencias en la socio-economía de las regiones. Está definido como la presencia de aguas anormalmente cálidas en la costa occidental de Sudamérica, por un período mayor a cuatro meses consecutivos, produciendo alteraciones oceanográficas, meteorológicas y biológicas. Dentro de la evaluación típica de un fenómeno de Niño es posible identificar sus fases de inicio, desarrollo, madurez y debilitamiento (IDEAM, 2012).

3.1.2 Fenómeno de la niña

El fenómeno “La Niña” se manifiesta entre otras variables, por un enfriamiento de las aguas del Océano Pacífico tropical central y oriental frente a las costas del Perú, Ecuador y sur de Colombia. Este fenómeno causa efectos contrarios a los que presenta “El Niño”, mientras que “El Niño” reduce las precipitaciones, “La Niña” favorece el incremento de las mismas en gran parte del país en particular sobre las regiones Caribe y Andina (IDEAM, 2012).

Por lo general, La Niña comienza su formación desde mediados de año con un enfriamiento de las aguas del Océano Pacífico tropical como uno de los indicadores oceánicos; como también un incremento de los vientos Alisios del Este, que propicia un descenso del nivel del mar sobre la zona oriental; “La Niña” alcanza su intensidad máxima a finales de año.

3.2 Balance hídrico

Toda unidad hidrológica, sea una cuenca superficial o subterránea, recibe aportaciones de agua y descarga un volumen de agua, además de que contiene otra cantidad de agua variable. Estos tres elementos deben equilibrarse a lo largo de una determinada unidad de tiempo. La expresión cuantitativa de este equilibrio constituye el balance hídrico.

El balance hídrico se refiere siempre a una unidad hidrológica, cuenca y a un intervalo de tiempo. El intervalo de tiempo puede ser cualquiera, pero lo normal es un año hidrológico medio, un año o un número determinado de años, un mes, un número de días, un día e incluso el tiempo de duración de una tormenta (Heras, 1970, Springall 1976).

En la ecuación 1 define la forma general de un balance hídrico.

$$\sum \textit{Entradas} - \sum \textit{Salidas} = \pm \Delta v \quad \text{Ec. 1}$$

En la ecuación 2 muestra las principales componentes de un balance hídrico tanto sus entradas como las salidas.

$$P + A - \textit{EVR} - \textit{Esc} - I = \pm \Delta v \quad \text{Ec. 2}$$

Donde:

Precipitación: P (mm)

Infiltración: I (mm/mes)

Evapotranspiración real: EVR (mm/mes)

Aportaciones o caudal de salida: A, Q (mm)

Déficit de escurrimiento: Esc (mm/mes)

El conocimiento de la evapotranspiración potencial de un lugar, del que se tienen registros de precipitación, permite establecer su balance hídrico anual. En esta forma es posible conocer la cantidad de agua que realmente se evapora desde el suelo y transpiran las plantas en ese lugar, la cantidad de agua almacenada por el suelo y la que se pierde por derrame superficial y profundo. Como la evapotranspiración y la precipitación son dos elementos climáticos independientes, su marcha anual difícilmente coincide en un mismo punto de la tierra, por lo que en algunos lugares existen períodos en los cuales la necesidad de agua está ampliamente satisfecha por las lluvias y otros en los que se carece de las cantidades de agua requerida. De esta manera, habrá meses con agua suficiente y meses en que se registre exceso o deficiencia de agua en forma manifiesta. También pueden ocurrir casos extremos en que durante todo el año las precipitaciones sobrepasen las necesidades de agua o viceversa (Novara, 2005).

3.2.1 Precipitación

Las precipitaciones son la fuente de agua procedente de las nubes que llega a la superficie terrestre, tanto en forma líquida como sólida. La cantidad de precipitación puede ser caracterizada según su distribución, diferencias climáticas y regímenes pluviométricos (Fernández, 1995; Aguilar, 2010).

Las precipitaciones tienen su origen en la formación de nubosidad por la condensación de las gotas de agua y el enfriamiento del aire, dando origen a varios tipos de precipitaciones que dependen de cómo asciende el aire. Expresa todas las formas de humedad caídas en estado sólido o líquido sobre el suelo. Las nubes son la fuente principal de precipitación aunque la mayoría de ellas no originen precipitación. Las gotas de lluvia tienen un diámetro medio de 1 mm, por ello en circunstancias normales no pueden vencer las corrientes ascendentes. Sólo el aumento de tamaño puede provocar precipitación. Existen dos procesos que explican este aumento de tamaño:

- Teoría de Bergeron-Findeisen: La presión de vapor de saturación es más pequeña sobre el hielo que sobre el agua. Si en una nube aparecen gotas de hielo, el vapor de agua tiende a depositarse sobre el hielo. Una vez formados los minúsculos cristales de hielo, estos crecen rápidamente por condensación. Los cristales de hielo tienden a astillarse por efecto de las corrientes de aire lo que incrementa su número. Por otra parte los cristales de hielo pueden unirse debido a su forma dendrítica. Cuando la velocidad de caída del hielo sobrepasa las corrientes de aire ascendente el copo de nieve cae y se transforma en lluvia si atraviesa una capa de aire con temperatura mayor de 0°C suficientemente espesa (Quintana, 2000).
- Procesos de colisión y coalescencia: El movimiento de las gotas de agua en las nubes origina colisiones entre las mismas que contribuyen a unirlas y por tanto a aumentar su tamaño medio. Por otra parte la velocidad de caída de las gotas de agua tiene una velocidad límite proporcional a su diámetro, de este modo las gotas mayores caen más rápido que las pequeñas arrastrándolas. Las gotas más pequeñas son apartadas a un lado. La turbulencia y la electrificación en las nubes cumuliformes tienden a incrementar el proceso de coalescencia (Quintana, 2000).

En la figura 1 muestra el proceso de formación de la precipitación en las nubes.

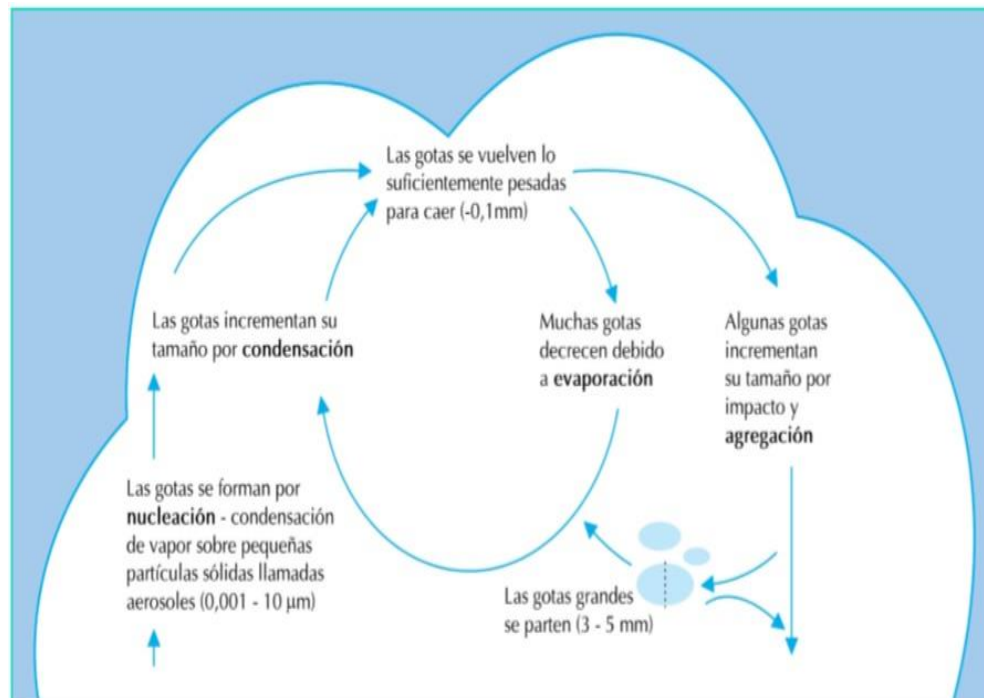


Figura 1 Formación de la precipitación en las nubes
Fuente: United States Geological Survey (rediseñado), 2014

3.2.2 Evapotranspiración

La evapotranspiración es el efecto combinado de la evaporación y la transpiración, fenómenos que se dan simultáneamente. Es el resultado del proceso por el cual el agua cambia de estado líquido a gaseoso directamente o a través de la planta y vuelve a la atmósfera en forma de vapor (Duarte *et al*, 2003).

Por otro lado, García (2008) manifiesta que la evapotranspiración es el proceso en el cual el agua pasa de fase líquida a fase de vapor, desde la superficie a la atmósfera. El agua puede evaporarse desde una gran variedad de superficies tales como suelo, lagos, ríos y vegetación húmeda. Este cambio requiere un aporte de energía, proporcionado fundamentalmente por la radiación solar y en menor grado por el aire que circunda la superficie evaporante.

La evaporación y transpiración ocurre simultáneamente y no hay forma sencilla de separar ambos procesos, por lo que al flujo de vapor de agua desde una cubierta vegetal se le denomina de forma general evapotranspiración (ET). La proporción de evaporación y transpiración en un cultivo cambia según las diferentes fases de desarrollo y crecimiento. Así cuando el cultivo está en las primeras fases de desarrollo predomina el suelo desnudo y el

principal proceso es el de evaporación; al desarrollarse el cultivo va cubriéndose progresivamente el suelo hasta alcanzar la cobertura máxima. Cuando el cultivo llega a cubrir totalmente el suelo la transferencia de agua a la atmosfera se debe generalmente a la transpiración (García, 2008).

Por lo que la evapotranspiración es un componente fundamental del balance hidrológico y un factor clave en la interacción entre la superficie terrestre y la atmósfera. Su cuantificación se hace necesaria en contextos tan diferentes como la producción vegetal, la planificación y la gestión de recursos hídricos o estudios ambientales y ecológicos. Este fenómeno depende directamente de la densidad de siembra, de las características de la vegetación, de la disponibilidad de agua en el suelo y de las condiciones meteorológicas como temperatura, radiación solar, vientos, humedad relativa, precipitación, etc. (Jiménez, 1992).

Para la obtención de esta variable hay diversos métodos y que se ajustan a estudio de interés como los son:

- **Método García – López**

Es una fórmula adaptada al trópico que permite estimar la evapotranspiración potencial diaria, entre latitud 15°N y 15°S. Desarrollada a partir de la correlación de los datos de temperatura y déficit de saturación con los de la evapotranspiración potencial medidos en seis estaciones tropicales. La ecuación se presenta a continuación:

$$ETP = 1,21 \times 10^n(1 - HR) + 0,21T - 2,3 \quad \text{Ec. 3}$$

Esta metodología fue hecha en condiciones del trópico y es válida para solo para temperaturas mayores o iguales a 10°C.

Donde:

ETP: Evapotranspiración potencial (mm/día)

T: Temperatura media del aire (°C)

HR: Humedad relativa media diurna.

n: Corrección de la temperatura (adimensional)

Este último parámetro se desarrolla en la ecuación 4.

$$n = \frac{7,45T}{234,7+T} \quad \text{Ec. 4}$$

- **Método tanque evaporímetro**

La tasa evaporativa de los tanques de evaporación llenos de agua puede ser fácilmente obtenida. En ausencia de lluvia, la cantidad de agua evaporada durante un período (mm/día) corresponde a la disminución de la altura de agua en el tanque en ese período. Los tanques proporcionan una medida del efecto integrado de la radiación, viento, temperatura y humedad sobre el proceso evaporativo de una superficie abierta de Agua.

Aunque el tanque evaporímetro responde de una manera similar a los mismos factores climáticos que afectan la transpiración del cultivo, varios factores producen diferencias significativas en la pérdida de agua de una superficie libre evaporante y de una superficie cultivada. La reflexión de la radiación solar del agua en el tanque puede ser diferente del 23% asumido para el cultivo de referencia. El almacenaje de calor dentro del tanque puede ser apreciable y puede causar una significativa evaporación durante la noche mientras que la mayoría de los cultivos transpiran solamente durante el día. También se distinguen diferencias en la turbulencia, temperatura y humedad del aire que se encuentran inmediatamente sobre estas dos superficies. La transferencia de calor a través de las paredes del tanque también afecta el balance energético (FAO, 2006).

A pesar de la diferencia en los procesos ligados a la evaporación del tanque y la evapotranspiración de superficies cultivadas, el uso de la evaporación del tanque para predecir la ETo para períodos de 10 días puede ser considerado confiable si se usa correctamente. La evaporación del tanque está relacionada con la evapotranspiración de referencia por un coeficiente empírico derivado del mismo tanque como se muestra en la ecuación 5.

$$ETo = Kp * Epan$$

Ec. 5

Dónde:

ETo: Evapotranspiración de referencia (mm/día)

Kp: Coeficiente del tanque evaporímetro (Adimensional)

Epan: Evaporación del tanque evaporímetro (mm/día).

Los valores de Kp se determinan experimentalmente relacionando los valores de evaporación en tanques evaporímetros y en embalses. Para seleccionar el coeficiente apropiado para un tanque evaporímetro dado, se debe considerar no solamente el tipo del tanque, sino también la cobertura del suelo donde se ubica el tanque, sus alrededores así como el viento y las condiciones generales de humedad. La localización y el ambiente del tanque evaporímetro también tienen influencia en los resultados.

En zonas climáticas semejantes, los valores de K_p se consideran constantes de un año a otro, es decir, K_p es estacionario a nivel anual, por lo que es una constante de proporcionalidad, que generalmente varía entre 0,6 y 0,8 con un valor promedio de 0,7.

- **Fórmula de Thornthwaite**

El método de Thornthwaite fue desarrollado a partir de datos de precipitación y escurrimiento para diversas cuencas de drenaje. El resultado es básicamente una relación empírica entre la ETP y la temperatura del aire. A pesar de la simplicidad y las limitaciones obvias del método, funciona bien para las regiones húmedas. No es necesariamente el método más exacto ni tampoco el que tiene las bases teóricas más profundas. Por el contrario, probablemente esas características corresponden a aquellas que involucran flujo de vapor y balance de calor. Entre las diferencias más notorias del método de Thornthwaite se encuentra la suposición de que existe una alta correlación entre la temperatura y algunos de los otros parámetros pertinentes tales como radiación, humedad atmosférica y viento. Mientras que tales limitaciones pueden ser poco importantes bajo ciertas condiciones, a veces pueden resultar relevantes.

Thornthwaite y Mather, quienes conocieran que la radiación solar y la turbulencia atmosférica son factores de importancia en la ETR, han establecido que el problema de desarrollar una fórmula para la ETP permanece aún sin resolver. Los métodos que incluyen flujo de vapor y balance de calor requieren datos meteorológicos que, o no son medidos o son observados en pocos puntos, muy espaciados. Por el contrario, la fórmula empírica de Thornthwaite puede ser usada para cualquier zona en la cual se registran la Temperatura máxima y Temperatura mínima diarias.

La fórmula de Thornthwaite es la siguiente:

$$ETP = 16 (10T/I)^a \quad \text{Ec. 6}$$

Dónde:

ETP: evapotranspiración (mm/mes).

I: índice calórico, constante para la región dada y es la suma de 12 índices mensuales i , donde i es función de la temperatura media normal mensual ($i: (t/5)^{1,514}$)

T: temperatura media mensual (no normal) (°C)

a: exponente empírico, función de I

- **Evapotranspiración de referencia de Penman - Monteith**

La Ecuación 7 determina la evapotranspiración de la superficie hipotética de referencia y proporciona un valor estándar con el cual se puede comparar la evapotranspiración en diversos períodos del año o en otras regiones así como también puede relacionarse con la evapotranspiración de otros cultivos.

$$Et_o = \frac{0,408 \Delta (R_n - G) + \gamma \frac{900}{T+273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma (1 + 0,34 u_2)} \quad \text{Ec. 7}$$

Dónde:

ET_o: Evapotranspiración de referencia (mm/día)

R_n: Radiación neta en la superficie del cultivo (MJ/ m² día)

R_a: Radiación extraterrestre (mm/día)

G: Flujo del calor de suelo (MJ/ m²/día)

T: Temperatura media del aire a 2 m de altura (°C)

u₂: Velocidad del viento a 2 m de altura (m/s)

e_s: Presión de vapor de saturación (kPa)

e_a: Presión real de vapor (kPa)

e_s – e_a : Déficit de presión de vapor (kPa)

Δ: Pendiente de la curva de presión de vapor (kPa/°C)

γ: Constante psicométrica (kPa/°C)

3.2.3 Infiltración

El agua precipitada sobre la superficie de la tierra queda detenida, se evapora, discurre por ella o penetra hacia el interior. Se define como infiltración al paso del agua de la superficie hacia el interior del suelo. Es un proceso que depende fundamentalmente del agua disponible a infiltrar, la naturaleza del suelo, el estado de la superficie y las cantidades de agua y aire inicialmente presentes en su interior (Custodio, 1983).

Custodio (1997) también define que la recarga a los acuíferos y la infiltración se expresa normalmente, si los balances se realizan por unidad de superficie, en alturas de agua por unidad de tiempo (unidades frecuentes de las mismas son los mm/año o mm/día y en el caso de la infiltración también es muy frecuente el expresarla en mm/hora), o en unidades de volumen de agua por unidad de tiempo cuando el balance se extiende a una determinada superficie.

A medida que el agua infiltra desde la superficie, las capas superiores del suelo se van humedeciendo de arriba hacia abajo, alterando gradualmente su humedad. En cuanto al

aporte de agua, el perfil de humedad tiende a la saturación en toda la profundidad, siendo la superficie el primer nivel a saturar. Normalmente la infiltración proveniente de precipitaciones naturales no es capaz de saturar todo el suelo, sólo satura las capas más cercanas a la superficie, conformando un perfil típico donde el valor de humedad decrece con la profundidad (Navarro, 2006).

Además, la infiltración es de unos de los componentes principales del ciclo hidrológico el motor de la vida para la mayor parte de los organismos que habitan en un ecosistema terrestre. La infiltración constituye el camino prioritario, por no decir único, por el cual el ecosistema retiene y acumula agua de la lluvia que le llega. Siendo el recurso agua tan escaso en los climas áridos, semiáridos y semihúmedos se comprende que la infiltración resulte crucial (Azagra, *et al*, 2006). La ecuación 8 define la infiltración como:

$$I = P - E_{tr} - Q_{es} \quad \text{Ec. 8}$$

Dónde

I = Infiltración (mm/mes)

P = Precipitación (mm/mes)

E_{tr} = Evapotranspiración real (mm/mes)

Q_{es} = Caudal de escorrentía (mm/mes)

3.2.4 Escorrentía

Se denomina escorrentía superficial al agua procedente de la lluvia que circula por la superficie y se concentra en los cauces. La escorrentía superficial es función de las características topográficas, geológicas, climáticas y de vegetación de la cuenca y está íntimamente ligada a la relación entre aguas superficiales y subterráneas de la cuenca.

Por otro lado la escorrentía superficial toma lugar cuando el agua lluvia se desliza sobre la superficie del terreno hasta alcanzar una fuente de agua superficial. La hipodérmica, hace referencia al agua que logra infiltrarse pero que se queda en una profundidad cercana a la superficie y escurre por esta parte y; la subterránea, es el agua que logra llegar hasta la zona saturada y que con el paso del tiempo puede alcanzar un cuerpo de agua superficial. La escorrentía no se da precisamente por el agua de lluvia, sino que también puede ser originada por el derretimiento de la nieve. La escorrentía fluvial por su parte y en función del tiempo puede ser: perenne (no cesa nunca), estacional (dura solo una estación), temporal (dura solo un periodo de una estación cualquiera), intermitente (reaparece a intervalos regulares entre dos interrupciones) y espasmódica (dura un corto lapso de tiempo) (Pierre, 1991).

La escorrentia por transposici3n de caudales se define en la ecuaci3n 9 como:

$$Q_x = \frac{A_x * P_x * Q}{A * P} \quad \text{Ec. 9}$$

D3nde:

Q_x = Caudal a estimar subcuenca (m^3/s)

A_x = 3rea de la subcuenca (Km^2)

P_x = Precipitaci3n espacial sobre la subcuenca (mm)

Q = Caudal del r3o (estaci3n de aforo) (m^3/s)

A = 3rea de la cuenca

P = Precipitaci3n espacial sobre la cuenca.

3.2.5 Agua de riego

El agua que es preciso aplicar en un determinante cultivo, para obtener un desarrollo vegetal 3ptimo, es funci3n de la evapotranspiraci3n o consumo diario de agua por la planta la cual equivale al agua que se pierde por evaporaci3n directa desde la superficie del suelo m3s el agua que se pierde por la traspiraci3n a trav3s del tejido vegetal. Cuando el agua aplicada es menor que el valor estricto no se produce un desarrollo vegetativo adecuado, mientras que si el agua aplicada es mayor que dicho valor estricto se producir3n retornos debido al exceso de agua aplicada a trav3s del regad3o.

Para determinar la cantidad de agua que es preciso aplicar en una determinada etapa de riego es necesario considerar, junto a la precipitaci3n, evapotranspiraci3n potencial y real, otra serie de factores tales como la eficiencia de aplicaci3n de cada sistema de riego que puede oscilar de 65 a 95%, dependiendo del sistema (surcos, micro aspersi3n, goteo, etc), las p3rdidas en conducci3n que var3an entre 30 y 85%, dependiendo de las condiciones f3sicas del suelo, e incluso la posible contribuci3n del agua subterr3nea por ascenso capilar al desarrollo vegetativo de las plantas.

3.3 Propiedades hidrodin3micas del suelo

3.3.1 Capacidad de campo (CC)

La capacidad de campo es el volumen de agua retenida en el suelo a partir del cual todo el agua aplicada al mismo percola hasta las capas m3s profundas del subsuelo alcanzando incluso la capa fre3tica (Arenas, 1985). O bien el grado de humedad de una muestra de suelo que ha perdido toda su agua gravifica o libre que es precisamente la que penetra y desciende por gravedad a trav3s de los poros que existen en el suelo (Llamas y Galofe, 1976; Samper

et al, 1999). Al igual que el punto de saturación, la capacidad de campo está directamente relacionado al tipo de suelo.

3.3.2 Punto de marchitez permanente (PMP)

El punto de marchitez define el instante en que la planta no puede extraer agua del suelo. Esto ocurre cuando la tensión molecular de las partículas de agua en el suelo y la presión atmosférica de la solución acuosa están en equilibrio con la fuerza de succión de las raíces (Arenas, 1985). El punto de marchitez permanente corresponde al mínimo contenido de agua disponible para la plantas, estos tiene lugar cuando el grado de humedad del suelo es tal que la fuerza de succión de las raíces es menor que la fuerza de retención del agua por el terreno (Samper *et al*, 1999).

En la tabla 1 se muestra la relación que hay entre el tipo de suelo y la capacidad de campo y punto de marchites permanente estas dos últimas variables se realizaron en base volumetrica.

Tabla 1 Relación entre tipo de suelo, CC Y PMP

Textura suelo	Capacidad de Campo	Punto Marchites Permanente
Arenoso	9%	2%
Arenoso-Franco	14%	4%
Franco arenoso limoso	23%	9%
Franco arenoso	29%	10%
Franco	34%	12%
Franco Arcilloso	30%	16%
Arcilloso	38%	34%
Arcilloso con buena estructura	50%	30%

Fuente: Vélez, 1999

3.4 Propiedades Físicas del suelo

3.4.1 Densidad aparente

La densidad aparente se define como la masa de suelo por unidad de volumen (g/cm^3 o t/m^3). Describe la compactación del suelo, representando la relación entre sólidos y espacio poroso (Keller & Håkansson, 2010). Es una forma de evaluar la resistencia del suelo a la elongación de las raíces. También se usa para convertir datos expresados en concentraciones a masa o volumen, cálculos muy utilizados en fertilidad y fertilización de cultivos extensivos. La densidad aparente varía con la textura del suelo y el contenido de materia orgánica; puede

variar estacionalmente por efecto de labranzas y con la humedad del suelo sobre todo en los suelos con arcillas expansivas (Taboada & Alvarez, 2008).

3.5 Sistemas de información geográfica (SIG)

3.5.1 Definición

Un SIG es un elemento que permite analizar, presentar e interpretar hechos relativos a la superficie terrestre. En otras palabras, un SIG es tanto un sistema de base de datos con capacidades específicas para datos georreferenciados, como un conjunto de operaciones para trabajar con esos datos. En cierto modo, un SIG es un mapa de orden superior (Olaya, 2011).

La base de un SIG es por tanto, una serie de capas de información espacial en formato digital que representan diversas variables (formato ráster), o bien capas que representan objetos (formato vector) a los que corresponden varias entradas en una base de datos enlazada. Esta estructura permite combinar en un mismo sistema, información con orígenes y formatos muy diversos, incrementando la complejidad del sistema.

Los SIG han ido definiéndose en base a la evolución de la informática, la aparición de nuevas fuentes de datos susceptibles de ser utilizadas en el análisis geográfico muy especialmente las derivadas de satélites, y del desarrollo de disciplinas relacionadas que han contribuido a impulsar el desarrollo propio de los SIG. Siendo en su origen aplicaciones muy específicas, en nuestros días los SIG son aplicaciones genéricas formadas por diversos elementos, cuya tendencia actual es a la convergencia en productos más versátiles y amplios (Olaya, 2011). En la figura 2 se muestra el esquema de desarrollo de un Sistema de Información Geográfica (SIG).



Figura 2 Componentes de un SIG
Fuente: ESRI, 2014

Además se puede contar con la integración de información meteorológica en tiempo real a los SIG debido a que se dispone de sensores remotos de diverso tipo que permiten captar imágenes con las que hacer estimaciones más o menos precisas de diversas variables climáticas y su variación espacial en un momento concreto. Los satélites meteorológicos y los radares meteorológicos se han utilizado para hacer estimaciones de la precipitación, sin embargo requieren un trabajo de calibración importante con datos de pluviógrafo para poder dar estimaciones fiables.

La estructura de la información proporcionada por estos sensores es siempre en formato ráster por lo que es fácilmente incorporable a un SIG. Su análisis se basa en operadores de álgebra de mapas; Operadores de vecindad para filtrar la imagen y resaltar determinados aspectos de la misma, Operadores locales, índices que permiten obtener variables climáticas a partir de la reflectividad medida por el sensor (Rodríguez *et al.*, 2007).

3.5.2 Formato Ráster

Según Sarria (2002), en el formato ráster se divide el espacio en un conjunto regular de celdillas, cada una de estas celdillas contiene un número que puede ser el identificador de un objeto (si se trata de una capa que contiene objetos) o del valor de una variable (si la capa contiene esta variable).

La información espacial también puede estar representada en conjuntos de unidades regulares constituido por celdas o píxeles, en forma de mosaico. La forma más simples es la celda cuadrada (pixel) y la malla regular de mosaico se conoce como estructura ráster. En vez de representar los elementos por sus coordenadas, el modelo ráster utiliza una rejilla o malla superpuesta sobre el paisaje para representar los elementos geográficos. Cada una de estas celdas contiene un valor numérico que expresa una determinada característica del terreno en esa localización. Éstas son muy apropiadas para la descripción de datos espaciales continuos como altitud, contenido de biomasa, temperatura y precipitación. (Peña, 2008).

Las operaciones típicas del análisis espacial son sencillas de llevar a cabo con la estructura ráster, ya que se pueden combinar los atributos de varias capas ráster como se ve en la Figura 3.

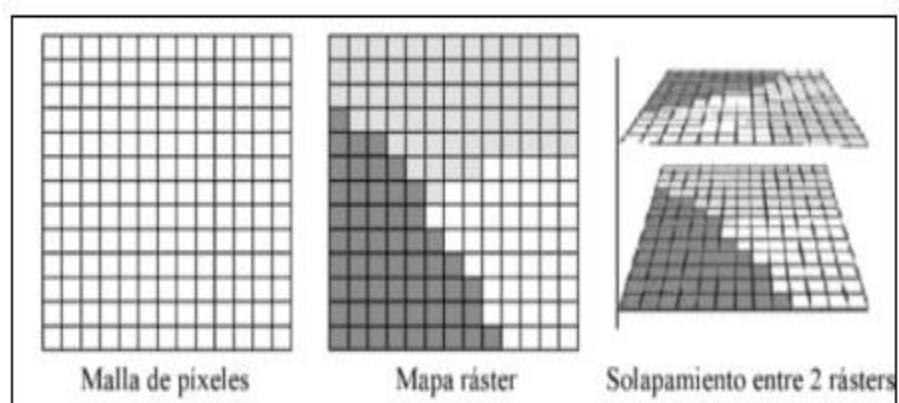


Figura 3 Estructura Ráster

Fuente: Peña, 2008

3.5.3 Formato Vector

El modelo vectorial es otro modelo principal de representación. En este modelo, no existen unidades fundamentales que dividen la zona recogida, sino que se recoge la variabilidad y características de esta mediante entidades geométricas, para cada una de las cuales dichas características son constantes. La forma de estas entidades (su frontera), se codifica de modo explícito, a diferencia del modelo ráster, donde venía implícita en la propia estructura -de la malla. Si el modelo ráster era similar al modelo conceptual de campos, el vectorial lo es al de entidades discretas, pues modeliza el espacio geográfico mediante una serie de primitivas

geométricas que contienen los elementos más destacados de dicho espacio. Estas primitivas son de tres tipos: puntos, líneas y polígonos como se muestra en la figura 4 (Olaya, 2011).







Primitiva	Entidad espacial	Representación	Atributos															
Puntos			<table><tr><th>ID</th><th>Altura</th><th>Diámetro Norma</th></tr><tr><td>1</td><td>17,5</td><td>35</td></tr><tr><td>2</td><td>22</td><td>45,6</td></tr><tr><td>3</td><td>15</td><td>27,2</td></tr><tr><td>4</td><td>19,7</td><td>36,1</td></tr></table>	ID	Altura	Diámetro Norma	1	17,5	35	2	22	45,6	3	15	27,2	4	19,7	36,1
ID	Altura	Diámetro Norma																
1	17,5	35																
2	22	45,6																
3	15	27,2																
4	19,7	36,1																
Lineas			<table><tr><th>Ancho Max (m)</th><th>Calado Max (m)</th><th>Longitud (Km)</th></tr><tr><td>15</td><td>43</td><td>35</td></tr><tr><td>6,3</td><td>39</td><td>5,2</td></tr></table>	Ancho Max (m)	Calado Max (m)	Longitud (Km)	15	43	35	6,3	39	5,2						
Ancho Max (m)	Calado Max (m)	Longitud (Km)																
15	43	35																
6,3	39	5,2																
Polígonos			<table><tr><th>Superficie (km²)</th><th>Profundidade Max (m)</th></tr><tr><td>31494</td><td>1637</td></tr></table>	Superficie (km²)	Profundidade Max (m)	31494	1637											
Superficie (km²)	Profundidade Max (m)																	
31494	1637																	

Figura 4 Primitivas geométricas en el modelo de representación vectorial
Fuente: Olaya, 2011

3.5.4 Métodos de interpolación

❖ Método IDW

El método de la distancia inversa (IDW) se apoya en el concepto de continuidad espacial, con valores más parecidos para posiciones cercanas que se van diferenciando conforme se incrementa la distancia. El uso de este algoritmo ha sido empleado en la representación de variables con continuidad espacial, como las isocronas, los mapas de pendientes y orientaciones a partir de la altitud, o estimaciones de la población de colonias de pingüinos (Canto, C. del, 1998; Siabato, W y Yudego, C., 2004).

La fórmula matemática se expresa como:

$$\hat{Z}(S_0) = \sum_{i=1}^N \lambda_i Z(S_i) \quad \text{Ec. 10}$$

Dónde:

$Z(s_i)$ = Valor medido en la ubicación i

λ_i = Ponderación desconocida para el valor medido en la ubicación i

s_0 = Ubicación de la predicción

N = Cantidad de valores medidos

La figura 5 muestra la superficie que se interpola la cual debe ser una variable dependiente de la ubicación.

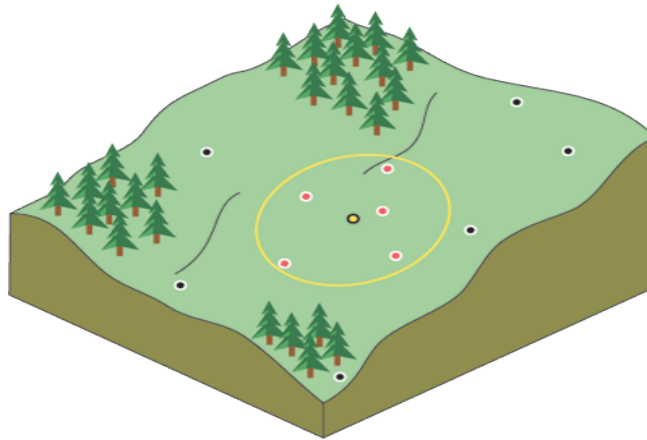


Figura 5 Vecindad del IDW del punto seleccionado
Fuente: ESRI, 2014

❖ Método Kriging

Kriging es un algoritmo basado en la geoestadística o “arte de modelizar datos espaciales” (Siabato, W. y Yudego, C., 2004). Esta técnica tiene en cuenta el comportamiento espacial de la variable a partir de la distancia y el grado de variación entre los puntos (depende de la relación espacial y estadística que hay entre los puntos de la muestra (Moral, F.J., 2003). Los valores obtenidos se consiguen por combinación lineal de los puntos origen con dato conocido. Como resultado quedan áreas mayores y más compactas alrededor a los valores máximos de la variable. Nuevamente el grado de ajuste con respecto a la distribución de la población es menor, situándose en un entorno más predictivo que real. El método del Kriging presupone una correlación espacial entre los datos de la variable.

Para determinar el auto correlación se usan semivariogramas y vecindades obtenidos a partir de un análisis exploratorio de los datos. El semivariograma permite a partir de la covarianza entre los puntos, representar la variabilidad de los mismos y su dependencia en función de la distancia y la dirección.

La fórmula general es Ec. 11:

$$Z(s) = \mu(s) + \varepsilon(s) \quad \text{Ec. 11}$$

Dónde

$Z(s)$ = Variable de interés

$\mu(s)$ = Constante desconocida

$\varepsilon(s)$ = Errores aleatorios de estimación

(s) = Coordenadas espaciales (x, y)

La Figura 6 muestra la asociación de un punto (punto rojo) con todas las demás ubicaciones medidas. Este proceso continua con cada punto medido (ESRI, 2014).

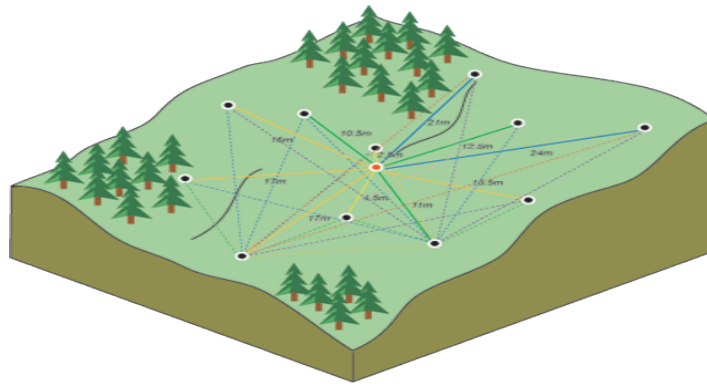


Figura 6 Cálculo de la diferencia cuadrada entre las ubicaciones asociadas
Fuente: ESRI, 2014

La predicción de estos puntos esa dada por:

$$\hat{Z}(S_0) = \sum_{i=1}^N \lambda_i Z(S_i) \quad \text{Ec. 12}$$

Dónde:

$Z(s_0)$ = Valor predicho

λ_i = una ponderación desconocida para el valor medido en la ubicación i

s_0 = la ubicación de la predicción

N = la cantidad de valores medidos

Por lo que en el método Kriging, las ponderaciones están basadas no solo en la distancia entre los puntos medidos y la ubicación de la predicción, sino también en la disposición espacial general de los puntos medidos. Para utilizar la disposición espacial en las ponderaciones, la correlación espacial debe estar cuantificada. Por lo tanto, en un Kriging ordinario, la ponderación, λ_i , depende de un modelo ajustado a los puntos medidos, la distancia a la ubicación de la predicción y las relaciones espaciales entre los valores medidos alrededor de la ubicación de la predicción ((Englund, 1988).

3.6 Manejo de información climática

3.6.1 Estimación de datos faltantes

La elección del procedimiento para el manejo de datos incompletos resulta una tarea compleja, pues un mismo método en determinadas situaciones produce estimaciones precisas y en otras no, esto sugiere a los investigadores que cuando manejen datos incompletos, valoren previamente el uso de más de una alternativa para tratarlos y realicen un análisis de sensibilidad que les permita una mejor elección del procedimiento a implementar (Cañizares *et al.*, 2004).

❖ Método de la Razón

Este método tiene una aplicación específica para estimar datos faltantes en series de lluvia y consiste en obtener la razón (q) a partir de pares de estaciones meteorológicas, de tal manera que sus valores mensuales, anuales o medios, tienden a ser constantes (Alfaro y Pacheco, 2000) . Es decir, si se tienen dos estaciones (A y B) el procedimiento consiste en:

Una vez identificando en cada estación los datos comunes en ambas, obtener (q) como el cociente entre la sumatoria de los datos de la estación B (datos faltantes), con la sumatoria de los datos de la estación A (con todos los datos), es decir

$$q = \frac{\sum_{i=1}^N b_i}{\sum_{i=1}^N a_i} \quad \text{Ec. 13}$$

Donde:

q = Razón

N = número de registros en cada estación.

b_i = registro de precipitación i de la estación B

a_i = registro de precipitación i de la estación A

Lo cual indica que N es el número de registros de la estación B y que éste a su vez, es menor al número de registros de la estación A. Luego de estimado q se obtiene el valor faltante de la precipitación en la estación, como:

$$B_j = q a_j \quad \text{Ec. 14}$$

Donde:

b_j = Precipitación estimada para el día faltante j .

a_j = Precipitación registrada en la estación de referencia el día j .

Este método es utilizado, además para valores mensuales y anuales.

❖ Método por análisis de regresión

Para la aplicación de éste método se requiere seleccionar una serie de datos con un comportamiento similar, esto es, dentro de la misma área de influencia topoclimática (referencia), a la serie que tiene los datos faltantes (estudio). La serie de datos de la referencia, debe contener el registro de datos completos en los períodos para los cuales faltan datos en la serie de estudio. Los valores de la serie de referencia se denotan como X_i , y los de la serie de estudio, cuyos datos no están completos, se denotan como Y_i . Para caracterizar los registros de las series, se toman aquellos períodos en los cuales los datos en ambas series están presentes, obteniéndose la media y desviación estándar para cada serie. Luego se estiman los coeficientes de la regresión de Y con respecto a X para los períodos donde los datos en ambas series están completos, es decir (Allen et al., 2006).

3.6.2 Análisis de confiabilidad

El análisis de confiabilidad designa la probabilidad de que un sistema cumpla satisfactoriamente con la función para la que fue diseñado, durante determinado período y en condiciones especificadas de operación. El campo de aplicación de la Teoría de la Confiabilidad se amplía constantemente. Todos los sistemas de ingeniería, simples y complejos, pueden beneficiarse de la aplicación integrada de los conceptos de esta teoría en sus fases de planeación, diseño y operación. (Barlow and Proschan (1964, 1975) y Gnedenko *et al.* (1965)).

❖ Método de dobles masas

El test de corridas solo permite detectar heterogeneidades. Más no permite corregirlas. Con el método de doble masas además de detectar inconsistencias en la información permite corregirlas.

Se analiza la consistencia de una serie de valores de algún elemento hidrometeorológico medido en la estación "X". Con base en los datos tomados en otra estación o grupo de estaciones "Y", situadas en una zona climática similar y cuya homogeneidad haya sido verificada. Este sistema de homogeneización de series se utiliza cuando puede suceder un cambio relativo en la variable observada, medida o registrada en una estación meteorológica.

El método puede ser aplicado también, con mucho éxito en la interpolación para el relleno de datos faltantes y la extrapolación para extender una serie incompleta al periodo de comparación (normalmente de 30 años), (Searcy J. & Hardison h., 1983).

4. METODOLOGIA

4.1 Localización y límites geológicos

4.1.1 Municipio del Patía

El municipio de Patía es uno de los cuarenta (42) Municipios en que está dividido el Departamento del Cauca. Hace parte de la Subregión Sur, conformada por los Municipios de Patía, Bolívar, Sucre, Argelia, Almaguer, Mercaderes, Florencia, Balboa y San Sebastián. Patía, tiene una altura de 1100 m.s.n.m., una temperatura media de 23°C y una precipitación anual de 2.171 mm. Y su situación en Latitud Norte es: 02° 06' 56" y en Longitud Oeste: 76° 59' 21". El municipio de Patía tiene 784 km² y una población de 33.382 habitantes (DANE, 2005, citado en el Plan de desarrollo municipal, 2009). El área de la cuenca del Patía es de 32855 ha.

La figura 7 muestra la localización de la cuenca del Patía.

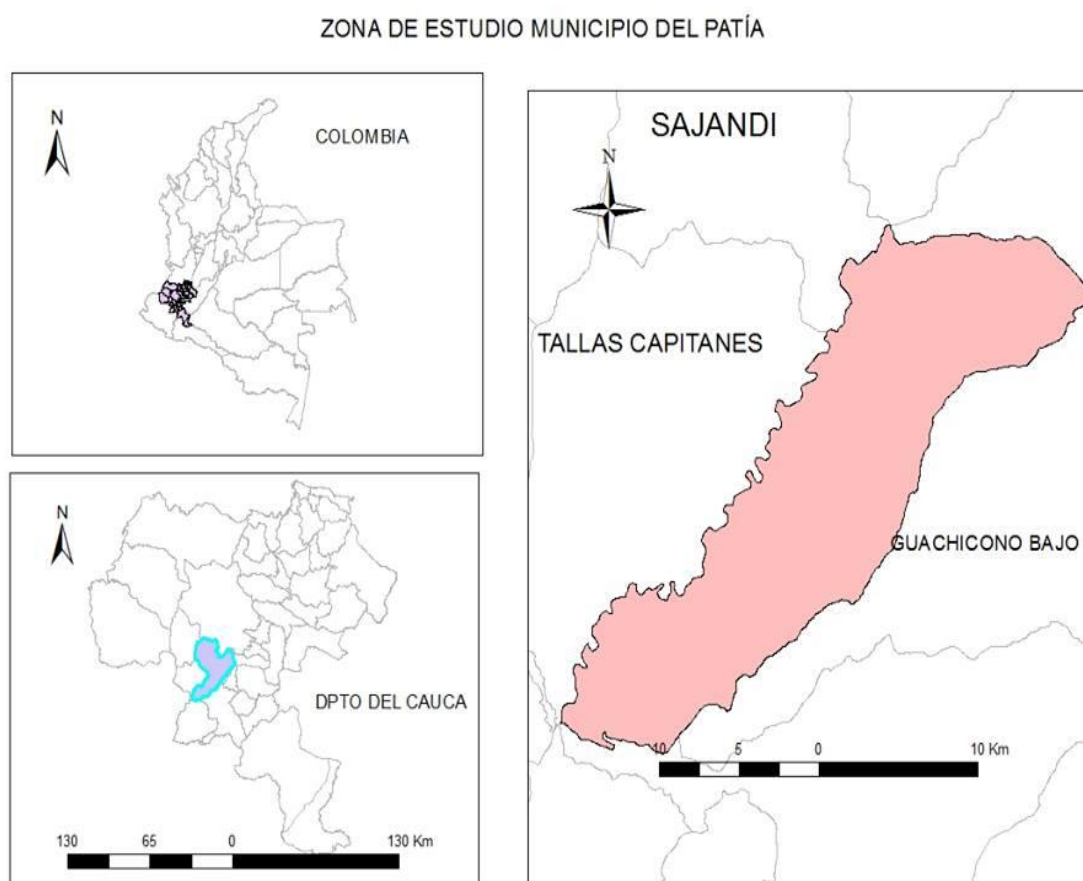


Figura 7 Valle del Patía, Departamento del Cauca

4.1.2 Norte del Departamento del Cauca

La provincia norte caucana se encuentra entre las Cordilleras Central y Occidental, colindante con los departamentos del Valle y Cauca y está conformada por trece (13) municipios: Santander de Quilichao, Buenos Aires, Suárez, Puerto Tejada, Caloto, Guachené, Villa Rica, Corinto, Miranda, Padilla, Jambaló, Caldono y Toribio; tiene una altura promedio de 1260 m.s.n.m., una temperatura media de 22°C, una precipitación anual de 2.050 mm. La Provincia de Norte del cauca tiene aproximadamente 1079.36 km² y una población de 387.723 habitantes (DANE, 2005). Las cuencas ubicadas en el norte del Departamento del Cauca tienen un área total de 150899.776852 ha. Ver figura 8.

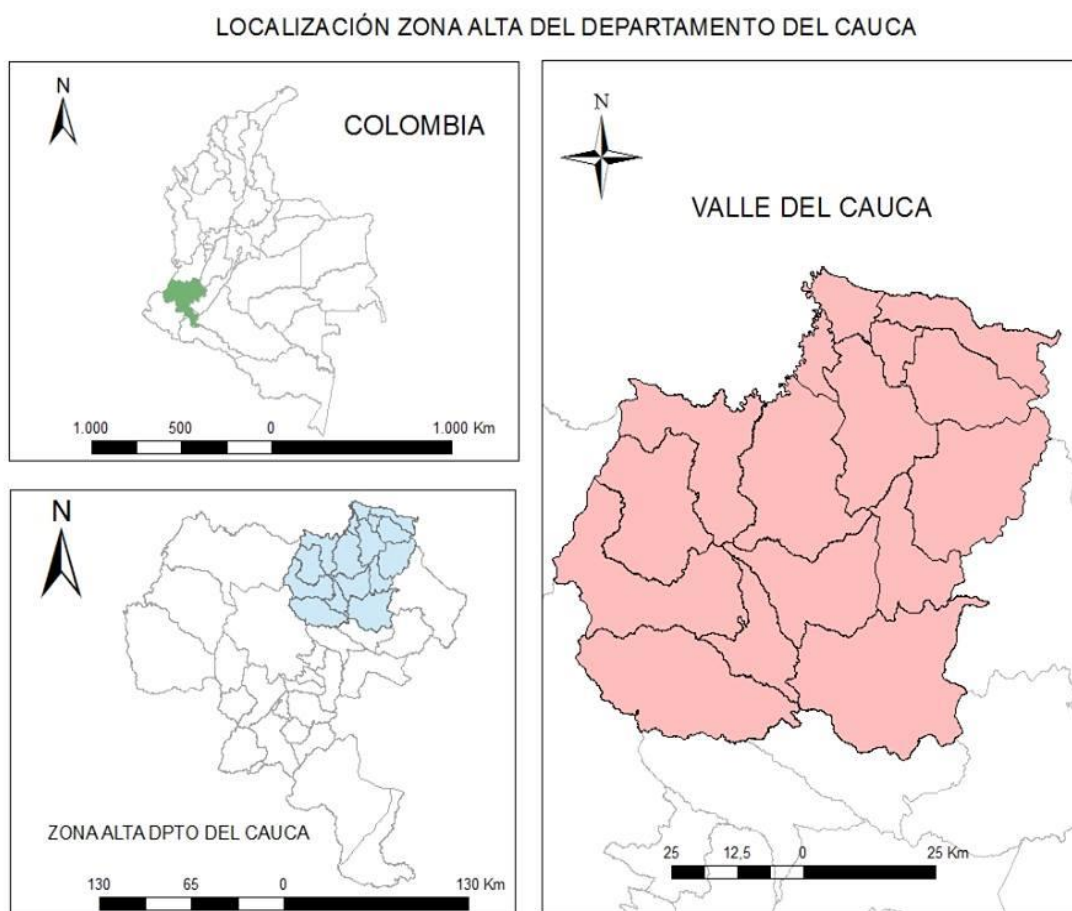


Figura 8 Zona norte del Cauca, Departamento del Cauca

4.1.3 Localización geográfica y límites geológicos

La provincia ocupa la parte intramontana centro-occidental de Colombia, y se extiende en dirección sur- norte coincidiendo en sus límites con las estribaciones de las cordilleras Central y Occidental. Las diferencias litológicas entre la cordillera Oriental y las cordilleras Central y Occidental de Colombia han sido el criterio básico para definir esta provincia, la cual está limitada, al oriente, por el sistema de falla del oeste del Magdalena, y al este, por el sistema de fallas del río Atrato. Se extiende, hacia el norte, hasta la falla de Murrucucú, en las estribaciones de las serranías de Abibe, San Jerónimo, Ayapel y San Lucas; y hacia el sur, se estrecha en el Macizo Colombiano. Su litología es predominantemente ígneo-metamórfica y representa diferentes etapas de la orogenia andina. En la provincia, se destaca el valle tectónico del Cauca, constituido por las subcuencas del Patía y del río Cauca. Este rasgo tectonoestratigráfico configura la provincia hidrogeológica del Cauca-Patía (IDEAM, 2010) (Ver figura 9).

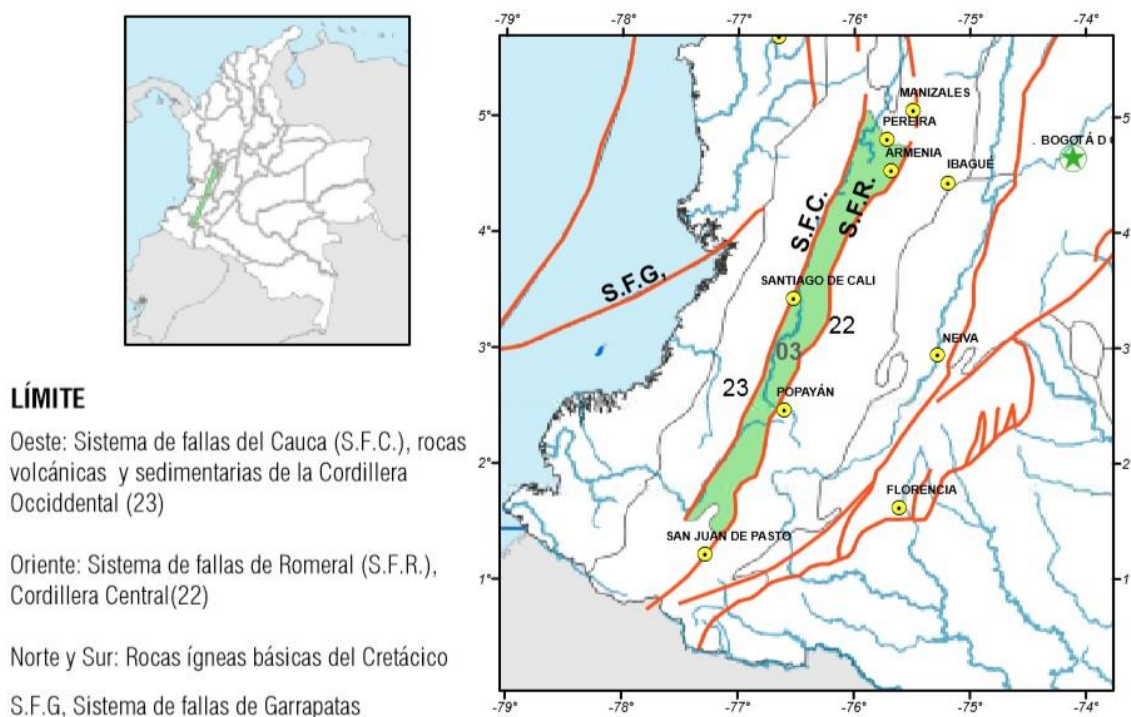


Figura 9 Ubicación de la provincia hidrogeológica de norte del Cauca – Valle del Patía

Fuente: Modificado de ANH, 2007

4.2 Recopilación y análisis de información secundaria

Para el análisis hidrológico en lo concerniente a la determinación de la infiltración y recarga del agua en el suelo, fue necesario adquirir toda la información hidrológica y climatológica de 99 estaciones localizadas en las zonas de intereses, se fueron descartando por falta de información por lo que solo se usaron 71, de las cuales 46 son pertenecientes a la zona norte del Departamento del Cauca, mientras que las 25 restantes son de la zona del Patía, las cuales son operadas por la Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca (CVC) y por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia (IDEAM), en el anexo 1 se relaciona las estaciones utilizadas en el estudio.

Las estaciones incluyen información de:

- Información mensual multianual de las variables: precipitación, evaporación, brillo solar, humedad relativa, temperatura y velocidad de viento.
- Información de caudales medios mensuales multianuales de las estaciones hidrométricas instaladas en la zona de estudio.

4.3 Uso de los suelos

Para la caracterización de suelos se consideró el Estudio General de Suelos y Zonificación de Tierras del Departamento del Cauca, realizado por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC). La etapa interpretativa de este estudio general de suelos tuvo como propósito definir la vocación de los suelos en términos de su capacidad de uso para agricultura, ganadería, actividades forestales, programas conservacionistas y de recuperación de áreas degradadas, el cual se realizó mediante la utilización de sistemas de calificación de la calidad de las tierras para su zonificación.

4.4 Variables hidrológicas

4.4.1 Precipitación

Se utilizó la información las estaciones cercanas a cada zona de estudio y con la base de datos organizada se procedió a realizar la estimación de datos faltantes mediante el método de proporción normal o cuando no era posible disponer de estaciones cercanas y circundantes a la estación incompleta como se muestra en la ecuación 15, o bien, las existentes no cuentan con observaciones de los datos (meses) faltantes, se estimó el valor mensual faltante por medio de un simple promedio aritmético de los valores contenidos en el registro para ese mes.

$$P_x = \frac{N_x}{M} \left[\frac{P_1}{N_1} + \frac{P_2}{N} + \dots + \frac{P_m}{N_m} \right] \quad \text{Ec. 15}$$

En la cual se define o escogen M estaciones cercanas al punto donde faltan los datos, con precipitaciones anuales de $P_1, P_2, P_3, \dots, P_m$, y de cada estación se conoce la precipitación normal, N, se puede encontrar la precipitación P_x en una estación vecina a las anteriores.

Una vez calculados los datos faltantes se procedió al cálculo de la precipitación de excedencia de ocurrencia del 50% y 75% mediante la ecuación 16 (método de Weibull). Es importante aclarar que para este análisis el periodo hidrológico establecido fue de 30 años (comprendido entre los años 1982 y 2013).

$$Px_i = \frac{m}{n+1} \quad \text{Ec. 16}$$

Donde

Px_i = Dato de probabilidad

m= Numero de orden

n= Numero de datos

Para el análisis de la precipitación de la zona del Valle del Patía y en la zona norte del Departamento del Cauca, se utilizaron información de 71 estaciones, 25 en el Valle del Patía y 46 estaciones norte del Departamento del Cauca todas entre climatológicas, pluviográficas y pluviométricas.

Luego de definidos los parámetros de precipitación a nivel mensual en cada una de las estaciones de la zona de estudio, se procedió al análisis espacial de las variables; para tal fin se utilizó la herramienta de SIG. Se crearon mapas de isocías de precipitación mediante el método de interpolación de Kriging, se reclasificaron y se interceptaron los datos con las capas de las subcuencas de las zonas de estudio para la obtención de los valores de precipitación (Ver anexo IV), valores tomados del texto del Convenio Interadministrativo 0330 del 2013. Todo el proceso se describe en un diagrama de flujo como muestras la figura 10.

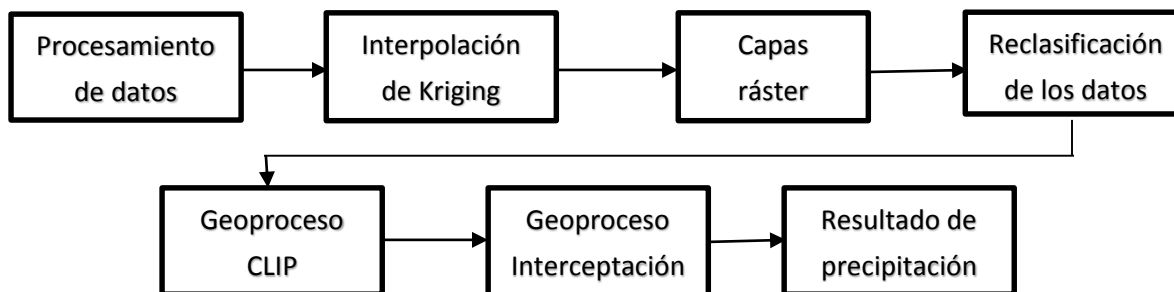


Figura 10 Diagrama para la elaboración de mapa de precipitación

4.4.2 Evapotranspiración potencial

La estimación de la evapotranspiración potencial en la cuenca y sub cuencas del Patía y del norte del Cauca respectivamente, se realizó por medio de 3 métodos. La zona de estudio cuenta con suficientes registros y número de estaciones climatológicas de manera que la distribución espacial es representativa para la zona. Los métodos utilizados para la determinación de la evapotranspiración potencial fueron: Método del tanque evaporímetro clase A, fórmula de Thornthwaite y el método de García y López; se escogieron los 3 métodos por ser los que más se ajustan a la información disponible. Las variables climáticas adquiridas en el IDEAM de las estaciones climatológicas localizadas en la zona de estudio son: evaporación, temperatura y humedad relativa.

Una vez realizado el análisis a nivel mensual de la evapotranspiración potencial (EVT), se procedió al análisis espacial de la variables para tal fin se utilizó la herramienta SIG. Los mapas de isolíneas de evapotranspiración se realizaron mediante el método de interpolación de Kriging, se reclasificaron y se interceptaron los datos con las capas de las subcuencas de las zonas de estudio para la obtención de los valores de evaporación potencial como se describe en la figura 11. Valores tomados del texto del Convenio Interadministrativo 0330 del 2013

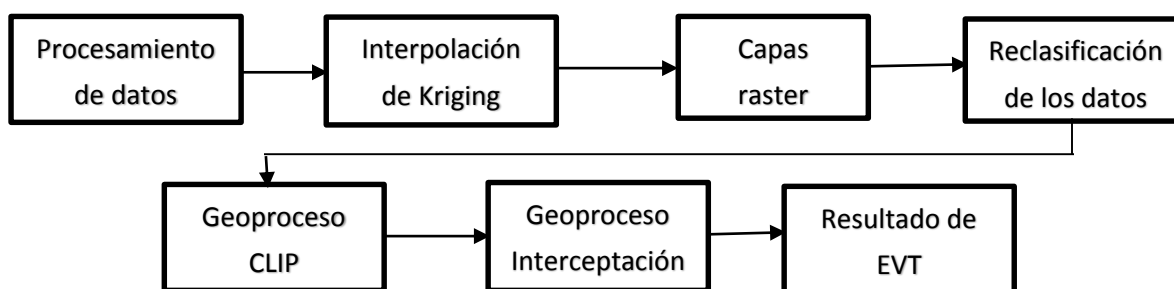


Figura 11 Diagrama para la elaboración de mapa de EVT

4.4.3 Evapotranspiración Real

Con la evapotranspiración potencial calculada y el k_c de los cultivos definido se procedió al análisis espacial de las variables con el fin de determinar la evapotranspiración real de la cuenca Valle del Patía y las sub cuencas del Norte del departamento del Cauca, para tal fin se utilizó la herramienta SIG. Se crearon mapas de isolineas de evapotranspiración real mediante el método de interpolación de Kriging, se reclasificaron y se interceptaron los datos con las capas de las subcuencas de las zonas de estudio para la obtención de los valores de evapotranspiración real. Todo el proceso de obtención de la evapotranspiración real se describe en la figura 12.

- **Kc del cultivo**

En la cartografía temática de uso del suelo o cobertura suministrada por la corporación regional autónoma del Cauca (CRC) no se identifica el tipo de cultivo, por lo tanto para determinar los k_c del cultivo fue necesario utilizar la información del Anuario Estadístico del Sector Agropecuario del año 2012, donde se presenta los resultados de las evaluaciones agropecuarias municipales (EVA), una vez identificado los cultivos y áreas de siembra para cada municipio se procedió a asignar un valor de K_c . Utilizando como referencia el estudio de la Fao (Riego y Drenaje 56), evapotranspiración del cultivo “Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos.

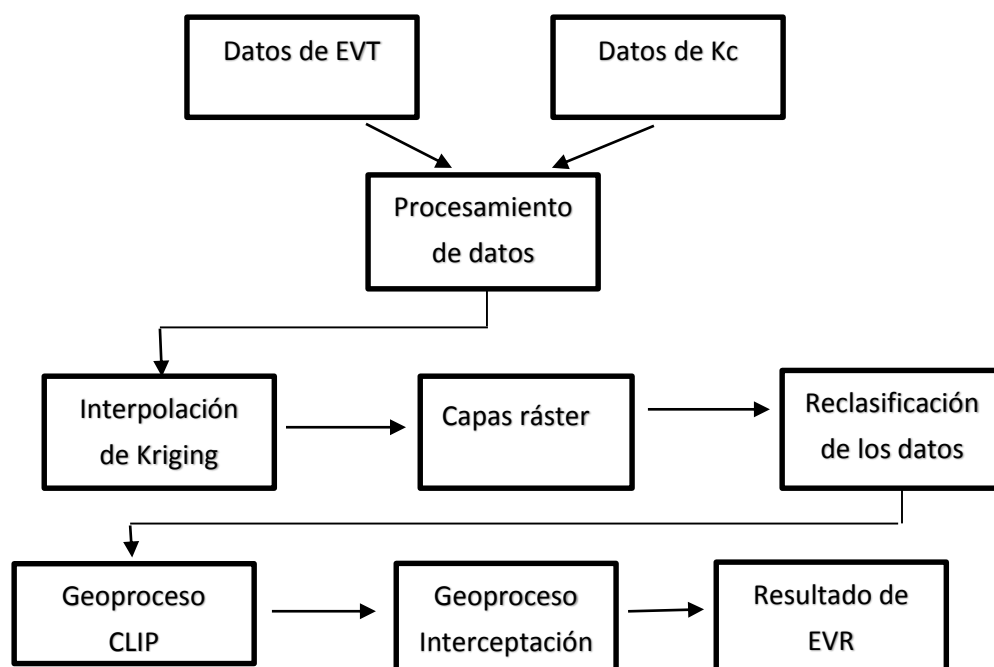


Figura 12 Diagrama para la elaboración de mapa de EVR

4.4.4 Escorrentía

- **Valle del Patía**

Los análisis y resultados de los caudales característicos se realizaron a partir de la información hidrológica adquirida en el IDEAM, para cada una de las estaciones hidrométricas implementadas en el río Patía. Se identificaron y analizaron 2 estaciones hidrométricas de importancia; la primera está ubicada en la parte alta del Valle del Patía, estación La Fonda y la otra estación de interés es la estación Loma Alta la cual se encuentra localizada en la parte baja del Valle del Patía antes de la desembocadura del río San Jorge; los registros utilizados o periodo de análisis para el estudio son desde el año 1982 hasta el 2012, estos registros son la base del análisis del régimen hidrológico tomados del estudio realizado en el Convenio Interadministrativo 0330 del 2013 CRC – Universidad el Valle.

- **Norte del Departamento del Cauca**

Los análisis y resultados de los caudales característicos se realizaron a partir de la información hidrológica adquirida en la Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca (CVC) y en el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia (IDEAM). Se identificaron y analizaron las estaciones hidrométricas de importancia sobre el río Cauca: La primera la cual está ubicada aguas debajo de la represa Salvajina estación La Salvajina y la otra estación de interés es la estación Hormiguero la cual se encuentra localizada en jurisdicción del municipio de Cali antes de la desembocadura del Zanjón Oscuro, los registros utilizados o periodo de análisis para el estudio son desde el año 1982 hasta el 2012, estos registros son la base del análisis del régimen hidrológico tomados del estudio realizado en el Convenio Interadministrativo 0330 del 2013 CRC – Universidad el Valle.

4.4.5 Recarga por agua de riego

Para el cálculo de las demandas hídricas requeridas para las necesidades de riego en ambas zonas de interés, se utilizó un valor de K_c ponderado de todos los cultivos que allí encontraban; tanto en la zona norte del Cauca como en el valle del Patía. De esta manera, se logró realizar una aproximación a las necesidades de riego netas. Se procedió a utilizar el programa CROPWAT 8.0 de la FAO como herramienta para calcular la **precipitación efectiva** para cada estación que se encontrará ubicada en la zona de interés. Posterior a este proceso, se hizo una reclasificación con el fin de tener uniformidad en los resultados y de esta manera facilitar el análisis de los datos y mapas obtenidos.

Teniendo en cuenta la información complementaria suministrada por las estaciones climatológicas disponibles, se recopiló la información de los mapas de **evapotranspiración real** que se tenía para el balance hídrico y con la ayuda de la herramienta algebra de mapas del SIG se realizó metodología propuesta por Pizarro, para el cálculo de las necesidades de riego (Pizarro, 1996).

$$Nrn = ETc - Pe \quad \text{Ec. 17}$$

Dónde:

Nrn= Necesidades de riego netas del cultivo (mm/mes)

ETc= Evapotranspiración del cultivo (mm/mes)

Pe= Precipitación efectiva (mm/mes)

Finalmente luego de tener la necesidad de riego neta se consideraron las eficiencias en conducción, aplicación y distribución para el cultivo de caña, arbustos y cultivo más predominante en la zona del norte del Departamento del Cauca y Valle del Patía, para obtener la necesidad de riego total de las zonas de estudio.

$$Nrt = \frac{Nrn}{Eft} \quad \text{Ec. 18}$$

Dónde:

Nrt = Necesidad de riego total del cultivo (mm/mes)

Nrn = Necesidades de riego netas del cultivo (mm/mes)

Eft = Eficiencia en el sistema

Al tener listo los 12 mapas resultantes (uno para cada mes), se procedió a elaborar el cálculo de la recarga por agua de riego suministrada para los cultivos que están establecidos en la zonas de interés.

Cabe anotar, que para cada variable, tanto precipitación efectiva como evapotranspiración real, se obtuvieron 12 mapas y con ellos se elaboró el cálculo de la recarga mediante la función Ráster calculator. En la figura 13 muestra el diagrama de flujo que se llevó a cabo para la obtención de los valores y mapas de precipitación efectiva, evapotranspiración real y por ende el aporte de agua por riego al balance hídrico.

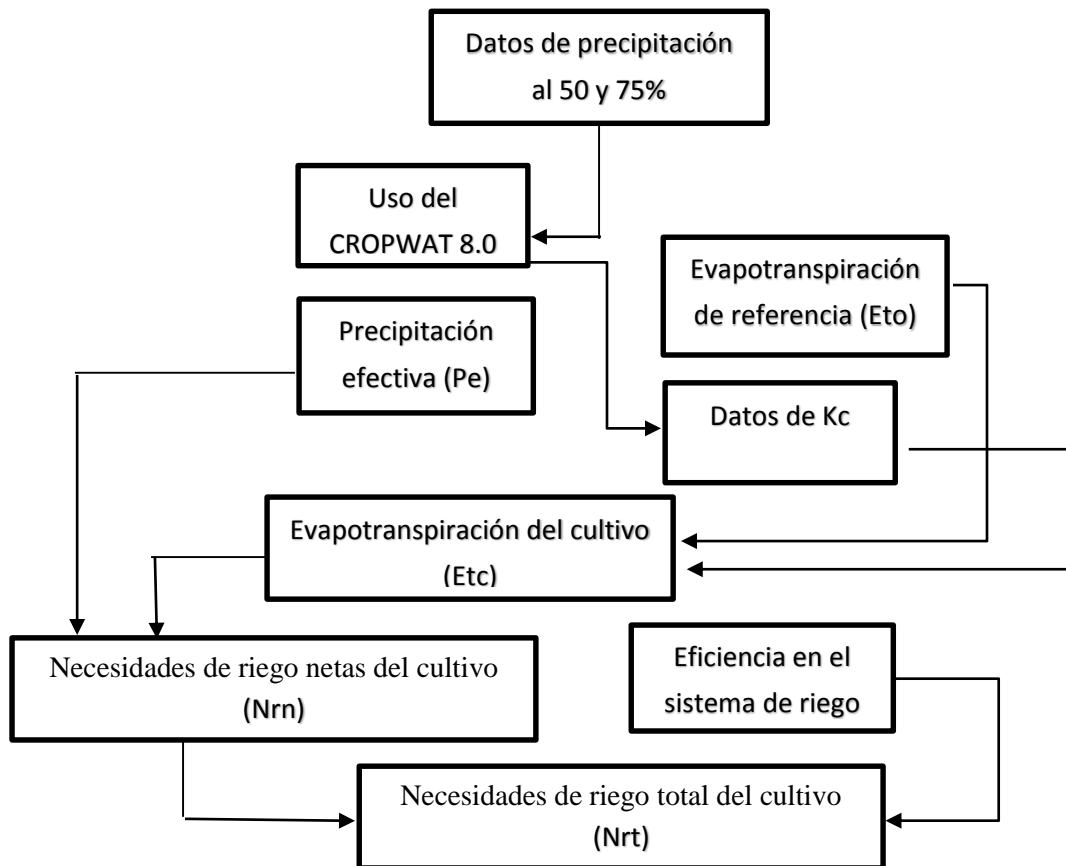


Figura 13 Diagrama de proceso para la recarga por agua de riego al acuífero

4.5 Balance hídrico (Infiltración)

Para el cálculo de la infiltración se consideró la ecuación 19 donde se tienen en cuenta las variables descritas anteriormente como la precipitación (teniendo en cuentas dos probabilidades 50 y 75%), la evaporación real y la escorrentía superficial tomada con análisis de caudales en las cuenca; además se incorporó al balance de la zona norte de Departamento del Cauca y Valle del Patía la variable de recarga por agua de riego.

$$I = P - Etr - Qes + R \quad \text{Ec. 19}$$

Dónde:

I = Infiltración (mm/día)

P = Precipitación (mm)

Etr = Evapotranspiración real (mm/día)

Qes = Caudal de escorrentía (mm/día)

R = Recarga por agua de riego (mm)

4.6 Recarga natural a los acuíferos

Hay diferentes expresiones para calcular la recarga a partir de un balance hídrico según el volumen de control escogido y según las subdivisiones que se hagan a las entradas, salidas o cambios en el almacenamiento. La expresión que se utilizó es:

$$Q_p = I - \Delta\theta \quad \text{Ec. 20}$$

Donde

Q_p = Recarga del acuífero (mm/mes)

I = Infiltración (mm/mes)

$\Delta\theta$ = Variación de la humedad

Donde la infiltración (I) fue determinada mediante el balance hídrico propuesto para cada zona teniendo en cuenta la precipitación, evapotranspiración real, escorrentía superficial para un periodo de 30 años, en el caso del norte del Departamento del Cauca el aporte por agua de riego. La variación de humedad ($\Delta\theta$) se determinó con la relación entre capacidad de campo, punto de marchitez permanente y de la densidad aparente de los suelos de las dos zonas de estudio, como se muestra en la ecuación 21, las variables fueron determinadas por estudios de propiedades físicas y químicas en 76 perfiles de suelo en el Departamento del Cauca, 36 pertenecientes al municipio del Patía y 40 al norte del Departamento del Cauca, proporcionados por el SIAC en el “El Estudio General de Suelos y Zonificación de Tierras del departamento del Cauca”.

$$\Delta\theta = \frac{(CC - PMP) * \frac{D_a}{D_w}}{100} * Z \quad \text{Ec. 21}$$

Donde

$\Delta\theta$ = Variación de humedad (mm)

CC = Capacidad de campo en base volumétrica (%)

PMP = Punto de marchitez permanente en base volumétrica (%)

D_a = Densidad aparente (gr/cm^3)

D_w = Densidad del agua (gr/cm^3)

Z = Profundidad (mm)

4.7 Balance hídrico con años de incidencia del fenómeno del niño

Se tuvo en cuenta que a lo largo del periodo evaluado hubo muchas fluctuaciones en las variables climatológicas del estudio, esto en gran parte debido al fenómeno del niño o también llamado ENSO por sus siglas en inglés.

Por tal motivo se tomaron los años donde hubo ocurrencia de este evento en Colombia (1986-1987, 1991-1992, 1994-1995, 1997-1998, 2002-2007 y 2009-2010), los cuales afectaron cada una de las variables propuestas en la ecuación 19 para el balance hídrico (precipitación, evapotranspiración real, escurrimiento superficial).

Luego de separar los datos afectados por el fenómeno del niño en cada una de las estaciones climatológicas, todas las variables se manejaron de igual manera que el balance hídrico general realizado con anterioridad. A la precipitación se le realizó la estimación de datos faltantes por método normal (ecuación 15); luego se realizó la probabilidad de excedencia por medio del método de Weibull (ecuación 16), para proceder a la realización del análisis mensual.

Por otro lado, para el análisis de la escurrimiento superficial se tomaron los datos de los 16 años durante los cuales hubo afectación del ENSO en las estaciones con datos de caudal y para la evapotranspiración real, se realizó un análisis mensual de la evapotranspiración potencial y del K_c de la zona de estudio. Para finalizar, con los valores de precipitación efectiva de los años de incidencia del fenómeno del niño y la evapotranspiración real se obtuvo el aporte de agua por riego.

Todos los procesos para la obtención de las variables para el balance hídrico se describen en la figura 14.

Después de haber realizado el análisis mensual de las variables, se procedió al análisis espacial de las mismas. Para tal fin se utilizó un SIG como herramienta. Se crearon mapas de isocías de todas las variables mediante el método de interpolación de Kriging, se reclasificaron y se interceptaron los datos con las capas de las subcuencas de las zonas de estudio para lograr la obtención de los valores de las variables del balance hídrico y la recarga a los acuíferos para los años de ocurrencia del fenómeno del niño.

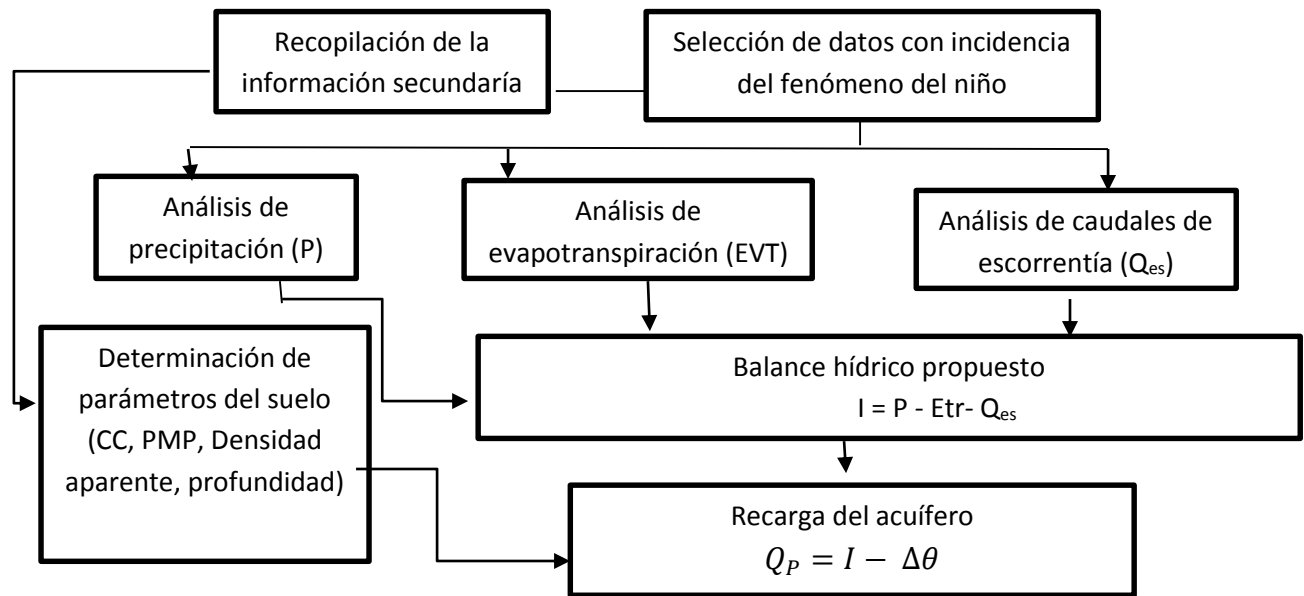


Figura 14 Diagrama del Balance hídrico para los años de incidencia del fenómeno del niño

5. RESULTADOS Y ANÁLISIS

5.1 Uso de suelos

5.1.1 Valle del Patía

Con base en la cartografía temática de la zona se estableció que el uso del suelo en la zona del Patía, se encuentra distribuido de la siguiente manera: Pastos naturales (44,8%), Cultivos mixtos no identificados (38,18%) y Bosque abierto (7,8%) como se muestra en la Tabla 2. En la cartografía no se identifica o establece con claridad los cultivos presentes en la región.

Tabla 2 Uso actual del suelo en el Valle del Patía

Cobertura	Área (ha)	Porcentaje (%)
Arbustal	17814	3,9%
Áreas erosionadas (sin cobertura)	580	0,1%
Bosque abierto	35673	7,8%
Centros poblados	443	0,1%
Cobertura vegetal natural (bosque denso)	17354	3,8%
Cultivos	173927	38,2%
Pastos naturales	204020	44,8%
Vegetación de paramo	5674	1,3%

Fuente: CRC, 2012

5.1.2 Norte del Departamento del Cauca

Con base en la cartografía temática de la zona se estableció que el uso del suelo de la parte plana del norte del departamento del Cauca es: Cultivos Pastos Rastrojos-Erosión (21,7%), Cultivo de caña (11,6%) y Pastos y rastrojos (7,6%), (Ver Tabla 3). En la cartografía no se identifica o establece con claridad los cultivos presentes en la región.

Tabla 3 Uso actual del suelo en el Norte del Departamento del Cauca

Cobertura	Área (Has)	Porcentaje (%)
Bosque Abierto	20491	5.4
Bosque Abierto/Cultivos Pastos	4237	1.1
Bosque Abierto/Cultivos-Rastrojos	751	0.2
Bosque Abierto-Cultivos	2918	0.8
Bosque Abierto-Cultivos/Pastos	21801	5.8
Bosque Denso	17542	4.7
Cob Hídrica Lagunar	351	0.1
Cob Inter Cultivos Bosque Abierto Rastro	6762	1.8
Cob Inter Cultivos Pastos Manejados	3639	1.0
Cob Intervenida Bosque Plantado	3138	0.8
Cob Intervenida Cultivos	13661	3.6
Cultivos - pastos - Bosque Abierto	987	0.3
Cultivos Caña	43752	11.6
Cultivos Café	951	0.3
Cultivos misceláneos-Bosque Abierto	8475	2.3
Cultivos Pastos Manejados	8341	2.2
Cultivos Pastos Manejados/Bosque Abierto	10906	2.9
Cultivos Pastos Rastrojos-Erosión	81776	21.7
Cultivos/Pastos	19980	5.3
Cultivos-pastos/Bosque Abierto	15000	4.0
Cultivos-pastos-rastrojos	17415	4.6
Cultivos-rastrojos	11549	3.1
Erosión/Cultivos-Pastos	2468	0.7
Humedales	468	0.1
Paramos	16839	4.5
Pastos-cultivos	12456	3.3
Pastos-rastrojos	28600	7.6
Zona Urbana	1211	0.3

Fuente: CRC, 2012

5.2 Cuencas del Departamento del Cauca

El sistema hidrográfico del Cauca está constituido por cinco grandes cuencas. Ver Tabla 4 Alto Cauca, conformada por el río Cauca y sus afluentes. La cuenca del Pacífico, conformada principalmente por los ríos Guapi, Timbiquí, Saija y Micay. Alto Magdalena, su principal fuente de drenaje es el río Páez. La cuenca del Patía, está conformada por el río Patía y sus tributarios. La cuenca del Caquetá, conformada por el río Caquetá. Las islas Gorgona y Gorgonilla situadas en el océano Pacífico, pertenecen al territorio caucano.

Tabla 4 Área de las cuencas en el Departamento del Cauca

Cuenca	Área (ha)	Porcentaje (%)
Pacífico	10'27.195	33.9
Cauca	719.669	23.7
Patía	535.515	17.7
Alto Caquetá	464.523	15.3
Alto Magdalena	285.905	9.4

Fuente: Convenio interadministrativo 0330, 2013 CRC - Univalle

- **Subcuencas ubicadas en la zona plana del norte del Departamento del Cauca**

La cuenca alta del río Cauca se encuentra localizada al nororiente del Departamento del Cauca, limitando al Norte con el Departamento del Valle, al Oriente con la cuenca alta del Magdalena, al Occidente con la cuenca del Pacífico y al sur con la cuenca del río Patía. Su ubicación astronómica está entre los 2° 4' 01" y 3° 22' 04" latitud norte y los 76° 59' 28" y 76° 02' 50" longitud oeste. Se extiende desde el Macizo Colombiano hasta los límites con el Valle del Cauca, entre las cimas de las Cordilleras Occidental y Central, su altitud varía desde los 4700 m en la cima del volcán Puracé y los 950 en el valle aluvial del Cauca; tiene un área aproximada de 719.669 ha y en el departamento ocupa en extensión, el segundo lugar después de la cuenca del Pacífico.

El río Cauca recorre la cuenca en sentido Sur - Norte, tiene su nacimiento en el cerro de El Español - Macizo Colombiano a una altura aproximada de 3200 m.s.n.m. y desciende siguiendo su curso dirección paralela a la cordillera Occidental para llegar finalmente a su desembocadura en el río Magdalena, del cual es su principal afluente. Desde el punto de vista político-administrativo, la Cuenca está constituida por 22 Municipios de los 40 que conforman el Departamento del Cauca, presentando la mayor concentración poblacional lo que incide en el grado de deterioro ambiental. Las localidades más pobladas son Popayán, Puerto Tejada y Santander de Quilichao.

Las subcuencas de estudio hacen parte de la cuenca alto Cauca y se encuentran localizadas en la zona plana del norte del departamento del Cauca, en donde se identifica el mayor potencial acuífero de la zona, estas subcuencas son las que se muestran en la Tabla 5.

Tabla 5 Subcuencas de estudio pertenecientes a la cuenca Alto Cauca

Subcuencas	Área (ha)
Rio Palo	150,902
Zanjón Oscuro	9,459
La Quebrada	16,07
*Rio Desbaratado	5,907
Rio Quinamayo	28,952
Quebrada sapera	1,587
Quebrada La Tabla	4,073
Rio Cañaveralejo	1,484
**Directos (fid04)	1,218
**Directos (fid05)	2,58
**Directos (fid07)	42
**Directos (fid08)	2,934
**Directos (fid11)	974

*Área de la subcuenca Desbaratado en jurisdicción del departamento del Cauca (área total rio Desbaratado: 16,409 ha).

** Unidades hidrológicas que drenan directamente al rio Cauca sin identificación.

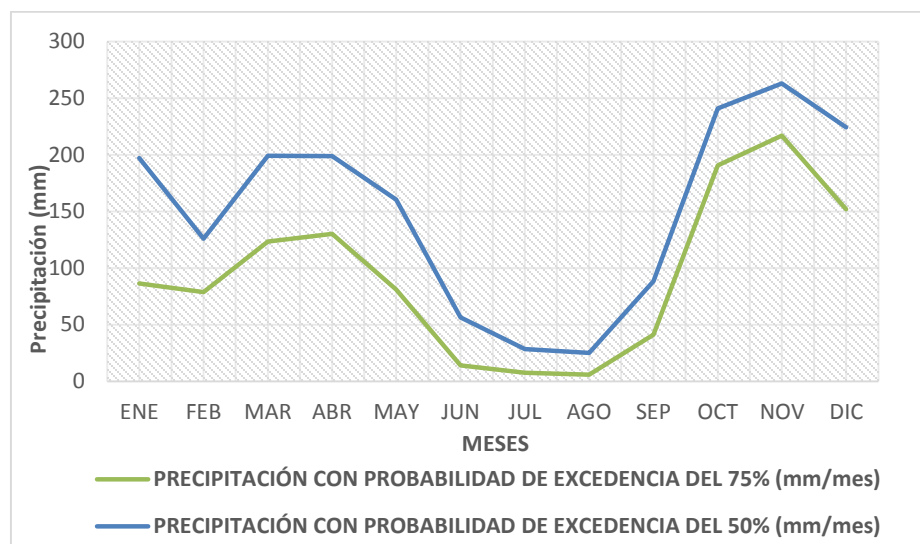
Fuente: Convenio interadministrativo 0330, 2013 CRC – Univalle.

5.3 Variables hidrológicas

5.3.1 Precipitación

- **Valle del Patía**

En cuanto a la distribución temporal de la precipitación en el Valle del Patía, se puede observar en la Grafica 1, que esta presenta un régimen de lluvias bimodal bien definido, en donde la primera temporada de lluvias del año comprende los meses de marzo, abril y mayo, la cual es seguida de una temporada seca severa que se manifiesta al inicio del mes de junio y se extiende hasta mediados del mes de septiembre, en la cual durante el mes de agosto es donde se presentan las más bajas precipitaciones en la cuenca, donde se presenta la segunda temporada lluviosa la cual según los resultados del análisis se presenta con mayor intensidad que la primera temporada de lluvias del año promedio para la cuenca, siendo octubre y noviembre los meses con más altas precipitaciones del año, presentando una intensidad de precipitación promedio al 50% de probabilidad de excedencia de 150,7 mm en el mes de Noviembre. Finalmente se presenta la segunda temporada de baja precipitaciones que se inicia a partir del mes de diciembre hasta el mes de febrero.



Grafica 1 Precipitación con probabilidad de excedencia del 50 % y 75 %. Valle del Patía

En la Tabla 6 se presenta la Precipitación con probabilidad de excedencia del 50% y 75%. Sector Valle del Patía.

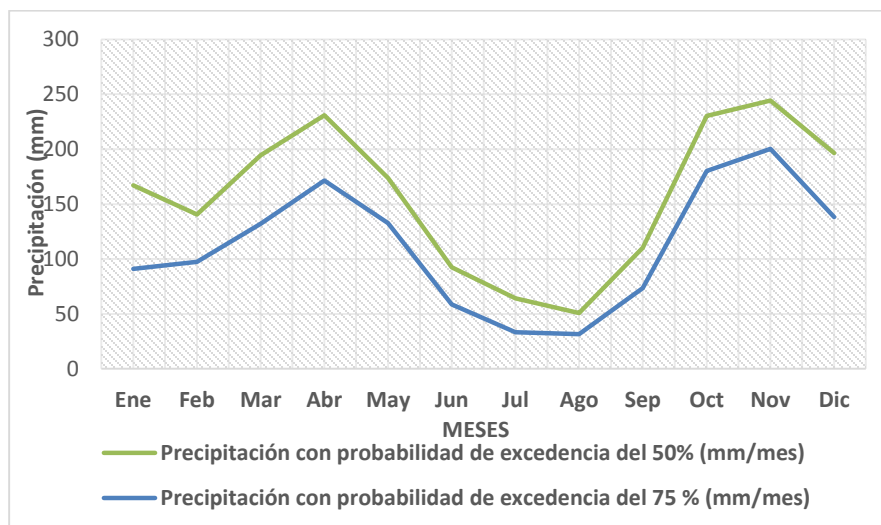
Tabla 6 Precipitación con probabilidad de excedencia del 50% y 75%. Valle del Patía

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Subcuenca Valle del Patía	Precipitación con probabilidad de excedencia del 50% (mm/mes)											
	197,3	125,9	199,3	198,9	160,6	56,4	28,3	25,1	88,2	240,9	263,1	224,5
	Precipitación con probabilidad de excedencia del 75% (mm/mes)											
	86,3	78,7	123,4	130,3	81,1	14	7,6	5,7	41,3	190,8	217,1	151,9

- **Norte del Departamento del Cauca**

En cuanto a la distribución temporal de la precipitación en la zona plana del norte del Departamento del Cauca, se puede observar en la Grafica 2. que ésta presenta un régimen de lluvias bimodal bien definido, en donde la primera temporada de lluvias del año comprende los meses de marzo, abril y mayo, la cual es seguida de una temporada seca severa que se manifiesta al inicio del mes de junio y se extiende hasta finales del mes de septiembre, en la cual durante el mes de agosto es donde se presentan las más bajas precipitaciones en la zona con valores de 50,8 mm para una probabilidad de excedencia del 50 % y 31,7 mm para una probabilidad de excedencia del 75 %. En los meses de octubre y noviembre es donde se presenta la segunda temporada lluviosa la cual según los resultados del análisis se presenta con mayor intensidad que la primera temporada de lluvias del año, presentando una

intensidad de precipitación para el mes de noviembre de 244,3 mm al 50% de probabilidad de excedencia y 200,4 mm al 75% de probabilidad de excedencia. Finalmente se presenta la segunda temporada de baja precipitaciones que se inicia a partir del mes de diciembre hasta el mes de febrero.



Grafica 2 Precipitación con probabilidad de excedencia del 50 % y 75 %. Zona norte del Departamento del Cauca

En la Tablas 7 y 8 se presenta la precipitación con probabilidad de excedencia del 50% y 75%. Sector del norte del Departamento del Cauca.

Tabla 7 Precipitación con probabilidad de excedencia del 50%. Subcuencas de interés hídrico ubicadas en el Norte del Departamento del Cauca

Subcuenca	Precipitación con probabilidad de excedencia del 50% (mm/mes)											
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Rio Palo	137,2	109	168,4	183	117,4	57,3	44	29,2	77,3	211	213	172
Zanjón Oscuro	96,9	86,2	154	214	136,3	77,5	41	29,6	101	162	169	102
La Quebrada	150,2	148	184,9	230	140,3	80	52	41,2	106	233	228	190
Rio Desbaratado	125,3	99,4	160,2	170	127,5	61,2	40	32,7	81,7	191	219	130
Rio Quinamayo	168,6	163	205,7	231	180,2	92,6	56	45,9	118	234	247	207
Quebrada Sapera	130,3	119	177,4	251	164,6	83,6	53	42,9	115	196	202	123
Quebrada La Tabla	142,3	128	173,6	257	152,2	79,9	52	43,6	111	217	207	146
Rio Cañaveralejo	162	148	191,1	270	199,6	124	60	62,7	135	240	257	176
Directos (FID04)	92,6	87,3	165,7	234	151	85,1	45	31,6	112	167	184	115
Directos (FID05)	117,2	108	169,9	242	160,2	85,6	50	38,7	111	185	192	115
Directos (FID07)	89,5	79,3	167,2	232	140,2	79,5	41	27,1	107	159	181	112
Directos (FID08)	137,8	126	177,4	256	167,5	89,5	54	47,7	120	205	209	134
Directos (FID11)	147,2	132	176,7	257	179,5	107	55	57,1	129	219	224	152

Tabla 8 Precipitación con probabilidad de excedencia del 75%. Subcuencas de interés hídrico ubicadas en el Norte del Departamento del Cauca

Subcuenca	Precipitación con probabilidad de excedencia del 75% (mm/mes)											
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Rio Palo	61,6	72,1	107,8	172	94,3	33,4	14	14	52,3	159	180	115
Zanjón Oscuro	45,8	42,9	106,3	150	94,5	44,1	22	17,1	57,1	114	123	70,5
La Quebrada	73,8	90,7	138,9	164	121,3	47,5	24	17	71,5	172	182	117
Rio Desbaratado	61,1	45,6	96,2	132	84,7	31,6	23	12,7	45,7	136	156	98,9
Rio Quinamayo	86,7	112	159,9	159	134,9	53,7	27	24,3	83,3	181	184	126
Quebrada Sopera	55,9	92,1	121,5	168	127	56	26	26	65,5	132	151	88,8
Quebrada La Tabla	59,8	93,7	124,1	173	127,4	57,1	27	21,3	64,7	142	162	103
Rio Cañaveralejo	75,2	102	145,3	187	151,8	65,1	33	35	85,8	176	189	124
Directos (FID04)	43	60,1	125,9	162	114,8	44,7	24	17,6	71,2	123	136	80,4
Directos (FID05)	54,4	74,1	129,1	167	121,8	44,9	27	21,6	70,2	136	142	80,8
Directos (FID07)	41,5	54,7	127,1	160	106,6	41,8	22	15,1	68	117	133	78,4
Directos (FID08)	64	86,5	134,8	177	127,4	47	29	26,6	75,8	150	154	94
Directos (FID11)	68,3	90,8	134,3	178	136,5	56,3	30	31,9	82	161	166	106

5.3.2 Evapotranspiración potencial

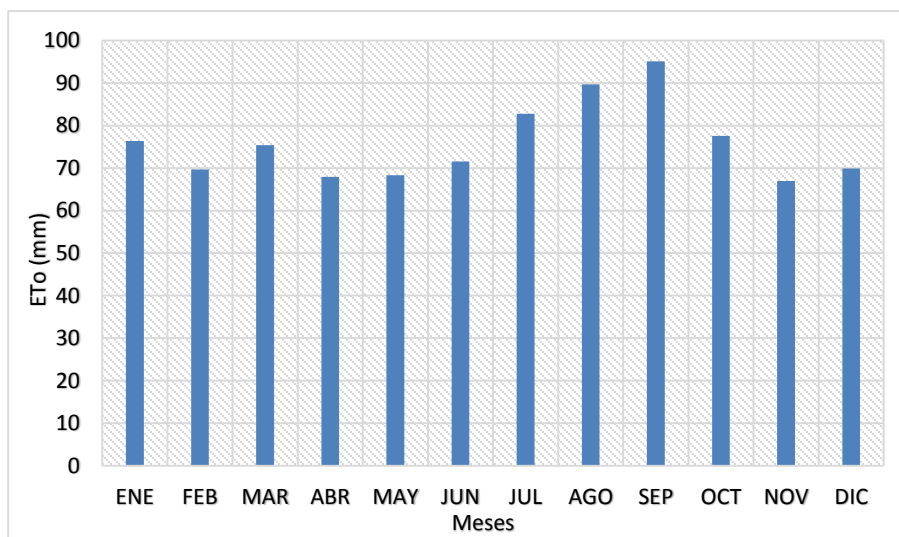
- **Valle del Patía**

Para la evapotranspiración potencial aunque se calculó con tres métodos se escogió el método del tanque evaporímetro clase A, debido a la información climatológica adquirida en la CRC y el IDEAM, es el método que se ajustaba mejor al balance. En la Tabla 9 se presenta el método del tanque evaporímetro tipo A, en el anexo 2, se presentan los dos métodos restantes de evapotranspiración potencial calculados en las estaciones localizadas en la zona de estudio.

Tabla 9 Evapotranspiración Potencial – Eto. Método del Tanque Evaporímetro clase A

Estación	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Los Milagros	72.4	63.8	68.6	63.8	72.2	80.0	93.4	95.3	89.6	71.7	61.3	62.9
Gja Exp Univ Nariño	95.8	92.6	101.9	91.1	97.5	103.5	113.6	116.2	120.7	108.2	93.3	89.3
La Fonda Citec	89.0	85.2	89.0	83.0	77.6	83.3	93.7	109.4	142.4	92.3	78.9	83.2
Bolívar	81.5	74.7	78.8	70.2	74.7	79.2	103.1	111.8	96.3	82.7	66.3	73.2
Mercaderes	92.9	83.5	89.6	76.1	73.8	78.3	98.7	106.5	100.5	92.7	78.2	87.0
Paispamba	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
La Sierra	63.1	55.8	65.7	57.5	59.0	59.7	74.0	80.9	74.3	63.6	53.3	56.6
Valencia	52.9	44.3	45.2	41.4	37.5	34.3	34.1	36.7	42.5	45.8	45.6	48.2

Es preciso observar el comportamiento de esta variable con el método del tanque evaporímetro clase A, a nivel mensual para la zona de estudio con una probabilidad del 50%. En la Gráfica 3 se puede observar que la tendencia a nivel mensual es muy similar, presentando en el mes de septiembre el mayor valor mensual de EVT con un valor de 95,1 mm. La más baja EVT se presenta en el mes de noviembre con un valor de 67,0 mm.



Grafica 3 Distribución temporal de la evapotranspiración potencial en la cuenca Patía.
Método del tanque evaporímetro clase A.

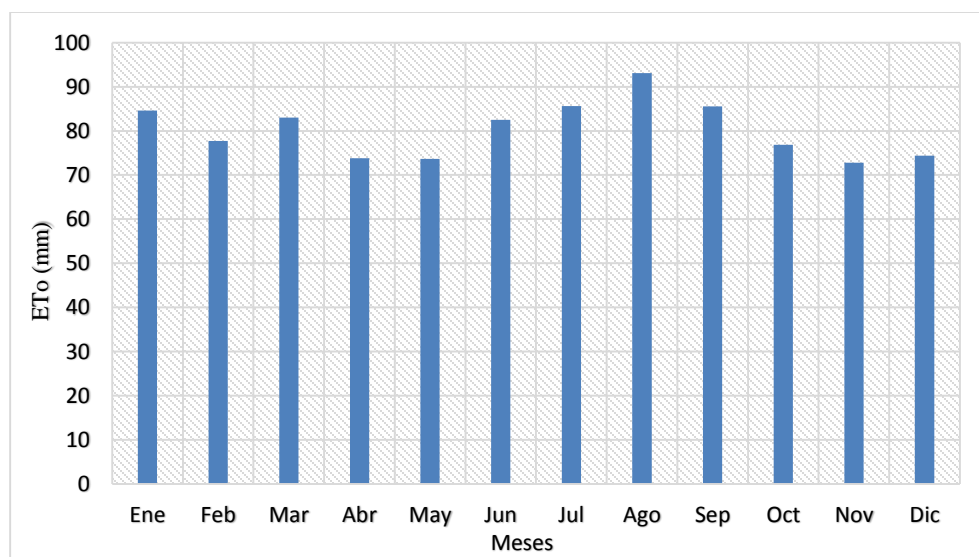
- **Norte del Departamento del Cauca**

La zona de estudio cuenta con suficientes registros 14 estaciones: 12 climatológicas y 2 evaporimétricas, de manera que la distribución espacial es representativa para la zona. Sin embargo aunque la estimación de la evapotranspiración potencial, se realizó por medio de 3 métodos, se escogió el método de tanque evaporímetro clase A, debido a la información climatológica adquirida en la CRC y el IDEAM, es el método que se ajustaba mejor al balance. En la Tabla 10, se presenta la evapotranspiración potencial por el método del tanque evaporímetro tipo A, en anexo 2, se presentan los dos métodos restantes de evapotranspiración potencial calculados en las estaciones localizadas en la zona de estudio

Tabla 10 Evapotranspiración Potencial - Eto. Método del Tanque Evaporímetro clase A.

Estación	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Japio	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Tunia	66.2	59.6	60.9	54.7	58.7	61.7	68.9	79.6	70.1	63.4	59.3	59.0
Lomitas	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Venta de Cajibío	70.4	62.8	70.8	65.8	63.3	68.7	86.7	95.6	82.1	69.7	63.0	62.5
Univ del Valle	92.0	92.0	100.7	86.7	84.7	85.4	101.4	107.7	101.9	88.5	77.9	81.0
Miranda	87.1	81.6	88.3	77.4	72.7	71.2	81.5	88.5	84.8	82.8	75.0	76.1
Cenicaña	104.9	99.5	106.1	92.6	90.1	88.7	101.3	113.6	103.7	102.5	90.4	96.8
La Salvajina	101.0	90.6	95.5	85.4	88.6	88.0	103.4	105.2	97.5	88.7	81.8	81.9
Ing Bengala	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ing Cauca	87.2	79.3	88.1	78.3	77.4	73.7	82.7	89.2	82.4	84.8	76.4	80.6
La Novillera	86.4	81.5	87.4	81.5	79.0	80.9	88.7	97.2	90.5	88.5	82.3	79.0
Ciat Quilichao	100.8	96.3	100.9	91.0	85.3	85.3	100.8	109.7	102.0	94.4	84.9	90.3
Mandiva	96.3	85.7	96.0	82.4	81.8	78.0	92.9	99.5	94.6	85.8	80.1	87.9
Samarkanda	63.1	56.7	64.0	53.0	54.7	57.1	77.8	85.0	74.3	62.0	49.4	50.9

Es preciso observar el comportamiento de esta variable con el método del tanque evaporímetro clase A, a nivel mensual para la zona de estudio. En la gráfica 4 se puede observar que en el mes de agosto se presenta el mayor valor mensual de EVT con un valor de 93,1 mm. La más baja EVT se presenta en el mes de noviembre con un valor de 72,8 mm.

**Grafica 4** Distribución temporal de la evapotranspiración potencial en la zona norte del departamento del Cauca. Método del tanque evaporímetro clase A.

5.3.3 Evapotranspiración real

- Valle del Patía

Los valores de los coeficientes de los cultivos (Kc) fueron muy diversos debido a la diversidad de los cultivos sembrados a lo largo de la zona de estudio ofreció, por lo que se realizó una ponderación de los valores como se muestra en la Tabla 11.

Tabla 11 Determinación del Kc ponderado, Valle del Patía.

Municipio	Cultivo	Área semb. (ha)	Kc	(kc) * Área semb.	Municipio	Cultivo	Área semb. (ha)	Kc	(kc) * Área semb.
Sotara	arveja	60	1.15	69.0	Mercaderes	patilla	41	1.05	43.1
	cebolla larga	30	1.00	30.0		tomate	42	1.10	46.2
	frijol	80	1.05	84.0		frijol	7	1.05	7.4
	maíz	120	1.15	138.0	Florencia	garbanzo	1	1.00	1.0
	papa	140	1.10	154.0		hortalizas	2	1.05	2.1
	quinua	10	1.10	11.0		maíz	9	1.15	10.4
	tomate	7	1.10	7.7		maní	2	1.10	2.2
	trigo	20	1.10	22.0		tomate	1	1.10	1.1
	ulluco	25	1.00	25.0		ahuyama	20	0.95	19.0
	frijol	12	1.05	12.6		arroz	125	1.20	150.0
La Sierra	habichuela	1	1.05	1.1	Balboa	frijol	3	1.05	3.2
	maíz	10	1.15	11.5		maíz	45	1.15	51.8
	tomate	2	1.10	2.2		patilla	5	1.05	5.3
	frijol	14	1.05	14.7		tomate	3	1.10	3.3
La Vega	maíz	8	1.15	9.2	Sucre	arroz	9	1.20	10.8
	papa	120	1.10	132.0		frijol	4	1.05	4.2
	cebolla larga	6	1.00	6.0		maíz	7	1.15	8.1
	frijol	67	1.05	70.4		tomate	1	1.10	0.7
Almaguer	hortalizas	4	1.05	4.2	Timbio	acelga	14	1.00	14.0
	maíz	135	1.15	155.3		cebolla larga	11	1.00	11.0
	papa	120	1.10	132.0		cilantro	15	0.77	11.6
	tomate	27	1.10	29.7		frijol	138	1.05	144.9
San Sebastián	arveja	5	1.15	5.8		habichuela	10	1.05	10.5
	frijol	7	1.05	7.4		lechuga	16	1.00	16.0
	maíz	700	1.15	805.0		maíz	200	1.15	230.0
	papa	360	1.10	396.0		tomate	50	1.10	55.0
	trigo	30	1.10	33.0				$\Sigma(Kc)$	
Kc cultivos ponderado				1.13	Área total cultivada (ha)			6.679	*
									Área
									7.515

Con la evapotranspiración potencial calculada y el kc de los cultivos definido se procedió al análisis de las variables con el fin de determinar la evapotranspiración real de la cuenca Valle del Patía. En la tabla 12 se presenta la evapotranspiración real mensual, en el Valle del Patía.

Tabla 12 Evapotranspiración Real (mm/mes). Valle del Patía.

Subcuenca Valle del Patía	Evapotranspiración Real (mm/mes)											
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
	81,6	78,3	79,8	77	75,8	79,3	91,1	101,8	119,6	87	72,4	76

• **Norte del Departamento del Cauca**

Para el cálculo del Kc se utilizó la información de los municipios que se encuentran localizados en la zona de interés, una vez identificado los cultivos y áreas de siembra para cada municipio se procedió a asignar un valor de Kc, para poder obtener un Kc ponderado para las subcuencas de la zona.

Tabla 13 Determinación del Kc ponderado. Norte del Departamento del Cauca

Municipio	Cultivo	Área semb, (ha)	Kc	(kc) * Área semb,	Municipio	Cultivo	Área semb, (ha)	Kc	(kc) * Área semb,	
Buenos Aires	arroz	40	1,2	48	Villa Rica	Ahuyama	13	0,95	12,35	
	cilantro	1	0,77	0,77		caña de azúcar	82	1,2	98,4	
	frijol	50	1,05	52,5		Maíz	37	1,15	42,55	
	habichuela	4	1,05	4,2		cítricos	45	0,8	36	
	maíz	40	1,15	46		Plátano	22	1,2	26,4	
Caloto	tomate	10	0,9	9	Santander de Quilichao	caña de azúcar	253	1,2	303,6	
	frijol	15	1,05	15,75		Maíz	28	1,15	32,2	
	habichuela	15	1,05	15,75		Arroz	20	0,9	18	
	maíz	20	1,15	23		Yuca	37	0,5	18,5	
	caña de azúcar	48	1,2	57,6		Café	119	1,12	133,28	
Pto Tejada	maíz	27	1,15	31,05	Miranda	Pastos intensivos	38	0,75	28,5	
	sorgo	17	1,1	18,7		Pastos rotación	23	0,95	21,85	
	tomate	10	1,1	11		Arveja	8	1,15	9,2	
	ahuyama	6	0,95	5,7		caña de azúcar	148	1,2	177,6	
	cilantro	3	0,77	2,31		cilantro	3	0,77	2,31	
Padilla	caña de azúcar	53	1,2	63,6	Corinto	Frijol	9	1,05	9,45	
	estropajo	5	1	5		habichuela	7	1,05	7,35	
	frijol	5	1,05	5,25		Maíz	23	1,15	26,45	
	maíz	12	1,15	13,8		pepino	12	1	12	
	Soya	5	1,1	5,5		tomate	17	0,9	15,3	
Suarez	tomate	4	0,9	3,6	Área total cultivada (ha)	Café	14	1,12	15,68	
	frijol	48	1,05	50,4		caña de azúcar	77	1,2	92,4	
	maíz	47	1,15	54,05		Área total cultivada (ha)	1.585	Σ (Kc) * Área	1.760	
	caña de azúcar	65	1,2	78		Kc cultivos ponderado				1,11

Con la evapotranspiración potencial calculada y el kc de los cultivos definido se procedió al análisis de las variables con el fin de determinar la evapotranspiración real para las subcuencas ubicadas en la zona plana del norte del departamento del Cauca. En la Tabla 14 se presenta la evapotranspiración real mensual, en las subcuencas.

Tabla 14 Evapotranspiración Real. Subcuencas ubicadas en norte del Departamento del Cauca

Subcuenca	Evapotranspiración Real (mm/mes)											
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Rio Palo	90.0	82.8	89.4	93.9	77.8	77.4	89.4	97.2	90.1	85.2	77.1	79.3
Zanjón Oscuro	91.9	83.8	92.8	97.5	81.6	78.2	88.7	95.6	88.9	89.4	79.8	83.7
La Quebrada	98.1	91.2	98.6	103.5	83.8	83.0	97.9	106.5	99.1	91.8	82.3	87.2
Rio Desbaratado	90.2	83.4	90.4	95.0	77.3	76.5	87.3	95.0	89.0	85.8	77.7	79.5
Rio Quinamayo	100.3	91.8	100.7	105.5	85.2	83.0	99.1	106.7	100.4	91.6	83.6	90.2
Quebrada Sopera	97.2	90.3	97.7	102.6	86.1	83.9	95.8	104.5	96.9	94.9	84.1	87.7
Quebrada La Tabla	98.1	91.4	98.8	103.8	85.6	83.9	97.2	106.0	98.4	94.3	83.4	87.6
Rio Cañaveralejo	100.9	94.5	100.7	105.8	86.7	86.3	102.3	110.3	102.8	94.6	85.9	89.8
Directos (FID04)	91.7	83.8	91.5	96.0	82.5	80.0	90.3	98.1	90.7	90.0	80.5	83.3
Directos (FID05)	95.4	87.9	96.0	100.7	85.1	82.4	93.8	102.0	94.7	93.6	82.9	86.5
Directos (FID07)	90.8	82.6	90.5	95.1	81.3	78.9	89.3	97.0	89.5	88.4	78.9	82.1
Directos (FID08)	98.7	92.9	99.0	100.9	86.8	86.0	97.9	1007.1	99.3	96.0	86.1	89.1
Directos (FID11)	100.3	95.4	100.7	105.7	87.2	87.8	101.2	110.3	102.5	96.8	88.0	90.3

5.3.4 Escorrentía

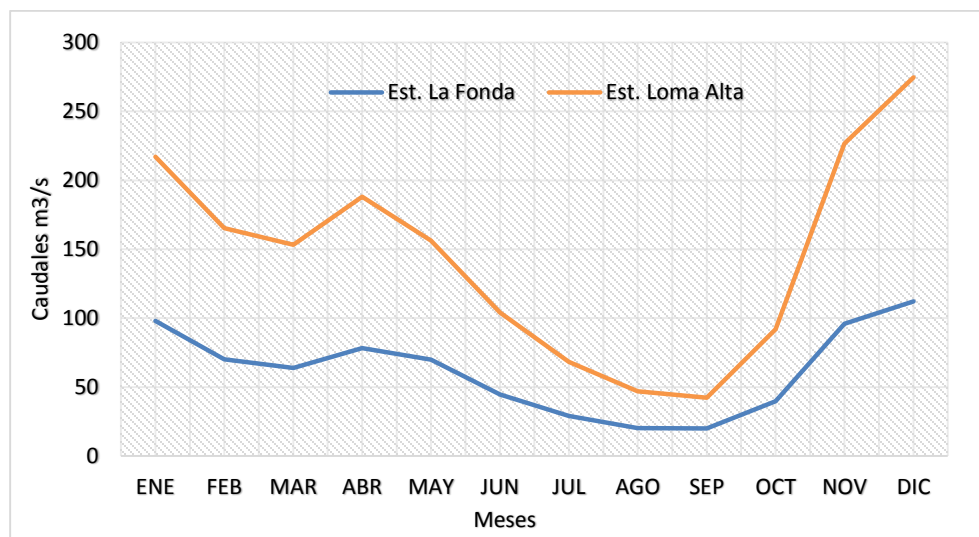
- **Valle del Patía**

Con base en los registros de los caudales medios mensuales multianuales adquiridos en el IDEAM se calcularon los valores medios mensuales multianuales en las estaciones hidrométricas La Fonda y Loma Alta como se muestra en la Tabla 15.

Tabla 15 Caudal mensual multianual. Valle del Patía (m³/s)

Estación de caudales	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Loma Alta	119,1	95,3	89,4	109,9	86,4	59,4	39,3	26,6	22,1	52,1	130,6	162,4
La Fonda	97,96	70,01	63,78	78,30	69,83	44,68	28,95	20,29	20,07	39,78	95,97	112,25
Diferencia	10,82	12,96	13,13	16,19	8,50	7,57	5,32	3,23	1,07	6,34	17,76	25,69

Los histogramas de los caudales medios mensuales multianuales para cada una de las estaciones hidrométricas se presentan en la Gráfica 5.



Grafica 5 Caudal mensual multianual del Valle del Patía (m³/s)

En Valle del Patía, en las 2 estaciones analizadas se presentan los caudales más bajos en el periodo comprendido entre los meses de junio y octubre, mientras que los caudales más altos se presentan en los meses de noviembre, diciembre y enero. En el período analizado los caudales medios mensuales multianuales mínimos en la zona de estudio son los siguientes: las estaciones La Fonda y Loma Alta presentan el valor más bajo en el mes de septiembre con 20,07 m³/s y 22,15 m³/s respectivamente. Los mayores valores de caudal son de 112,25 m³/s para la estación La Fonda en el mes de diciembre y en la estación Loma Alta de 162,36 m³/s en el mismo mes.

- **Norte del Departamento del Cauca**

Para el análisis de caudales o de escorrentía se analizaron las estaciones El Hormiguero y de Salvajina, pero de igual forma se analizaron las estaciones implementadas y localizadas en las Subcuencas de interés hídrico como se muestran en la Tabla 16 que se presenta el resumen de caudales mensuales multianuales de las subcuencas localizadas en la zona plana del norte del departamento del Cauca.

Tabla 16 Caudales medios mensuales multianuales (m³/s)

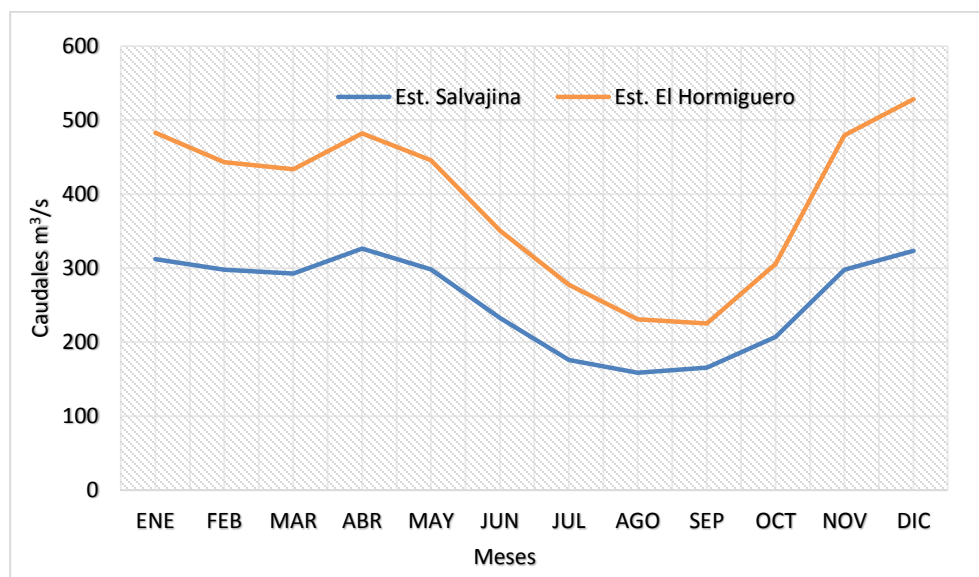
Subcuenca	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Rio palo	43,26	37,52	42,04	50,21	45,55	31,93	24,28	17,85	17,90	33,22	50,93	50,77
Zanjón Oscuro	2,97	4,51	7,82	12,11	8,52	2,54	0,89	1,69	3,33	10,88	9,48	4,18
LA Quebrada	1,66	1,76	2,61	3,07	2,13	0,27	0,08	0,08	0,86	3,41	3,83	2,08
Rio Desbaratado	2,37	1,91	2,48	2,92	3,11	2,40	1,98	1,24	1,05	2,36	3,79	3,47
Rio Quinamayo	5,07	4,90	5,18	5,80	5,56	3,47	2,00	1,41	1,52	3,44	6,85	6,19
Qda. Sopera	0,61	0,65	0,65	0,73	0,65	0,49	0,32	0,37	0,46	0,47	0,50	0,51
Qda. La Tabla	1,61	1,74	1,73	1,95	1,72	1,31	0,84	0,99	1,21	1,24	1,32	1,35
Rio Cañaveralejo	0,62	0,67	0,67	0,75	0,66	0,50	0,32	0,38	0,47	0,48	0,51	0,52
Directos (FID04)	0,47	0,50	0,50	0,56	0,50	0,38	0,24	0,29	0,35	0,36	0,38	0,39
Directos (FID05)	0,79	0,85	0,85	0,96	0,84	0,64	0,41	0,49	0,59	0,61	0,65	0,66
Directos (FID07)	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Directos (FID08)	0,87	0,93	0,93	1,05	0,92	0,70	0,45	0,53	0,65	0,67	0,71	0,73
Directos (FID11)	0,35	0,38	0,38	0,42	0,37	0,28	0,18	0,22	0,26	0,27	0,29	0,29

Con base en los registros de los caudales medios mensuales multianuales adquiridos en el IDEAM se calcularon los valores medios mensuales multianuales en las estaciones hidrométricas Salvajina y Hormiguero.

Tabla 17 Caudal mensual multianual del Norte del Departamento del Cauca (m³/s)

Estación de caudales	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Est. El Hormiguero	312,31	297,73	292,81	326,50	298,12	232,65	175,88	158,92	165,76	207,16	297,68	323,32
Est. Salvajina	170,57	145,17	140,50	155,37	147,37	118,01	101,77	71,97	59,37	98,37	181,60	204,60
Diferencia	141,74	152,56	152,31	171,13	150,75	114,65	74,12	86,95	106,39	108,79	116,08	118,72

Los histogramas de los caudales medios mensuales multianuales para cada una de las estaciones hidrométricas se presentan en la Gráfica 6.



Grafica 6 Caudal mensual multianual del Norte del Departamento del Cauca (m³/s)

De las 2 estaciones hidrométricas analizadas sobre el río Cauca, se observa que los caudales más bajos en el periodo comprendido entre los meses de julio, agosto, septiembre y octubre, mientras que los caudales más altos se presentan en los meses de noviembre, diciembre, enero y abril. En el período analizado los caudales medios mensuales multianuales mínimos en la zona de estudio son los siguientes: en la estación Hormiguero el valor más bajo de caudal se presenta en el mes de agosto con 158,92 m³/s, mientras que en la estación Salvajina el valor de caudal más bajo se presenta en el mes de septiembre con 59,37 m³/s. Los mayores valores de caudal son de 326,50 m³/s para la estación Hormiguero en el mes de abril y en la estación Salvajina de 204,60 m³/s se presenta en el mes de diciembre.

5.3.5 Recarga por agua de riego

Con base a los datos obtenidos de los cálculos y mapas de la precipitación efectiva y evaporación real de cada una de las zonas de estudio se obtuvieron los valores de la necesidad de riego en cada zona de interés, como se muestra en la Tabla 18 y 19.

Tabla 18 Recarga por agua de riego. Valle del Patía

Subcuenca	Recarga por agua de riego. Valle del Patía (mm/mes)											
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Valle del Patía	27,60	26,38	1,75	-5,00	13,09	85,83	117,18	126,19	96,22	-28,89	-40,73	-18,17

Tabla 19 Recarga por agua de riego. Norte del Departamento del Cauca

Subcuenca	Recarga por agua de riego. Norte del Departamento del Cauca (mm/mes)											
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Rio Palo	40,45	31,12	10,72	-17,17	10,28	-13,51	78,28	96,01	54,37	-21,87	-33,70	1,23
Zanjón Oscuro	57,55	51,24	12,74	-24,31	7,70	-11,80	76,68	89,03	47,27	3,47	-12,19	28,88
La Quebrada	40,41	20,54	-1,85	-26,91	-7,52	-15,61	80,04	97,58	42,29	-27,57	-38,17	-4,11
Rio Desbaratado	44,43	47,41	19,62	-13,70	12,26	-12,16	72,45	90,83	55,31	-9,89	-28,30	7,38
Rio Quinimayo	33,73	7,96	-9,06	-24,80	-13,94	-16,26	79,20	91,02	37,14	-30,23	-39,86	-16,53
Quebrada Sopera	50,51	17,40	3,88	-31,66	-11,62	-13,52	77,12	87,29	45,02	-8,34	-26,25	15,88
Quebrada la Tabla	48,44	16,59	3,40	-32,72	-11,89	-14,27	78,22	92,76	47,10	-16,29	-30,82	8,79
Rio Cañaveralejo	39,66	12,69	-4,81	-34,22	-24,54	-15,99	75,73	82,45	32,86	-26,51	-41,84	-6,37
Directos (FID04)	39,7	12,7	-4,81	-34,2	-24,5	-16,0	75,7	82,5	32,9	-26,5	-41,8	-6,37
Directos (FID05)	10,22	8,72	2,30	-7,23	-0,23	-1,67	16,70	22,19	10,22	-0,46	-9,01	2,98
Directos (FID07)	12,57	2,67	2,19	-9,43	-1,45	-3,22	12,36	14,33	8,93	-1,45	-6,43	3,87
Directos (FID08)	9,36	3,98	1,23	-4,11	-5,27	-3,98	18,54	16,38	12,75	-2,77	-2,76	3,44
Directos (FID11)	7,43	5,61	0,78	-3,04	-0,63	-2,23	14,57	18,81	4,22	-1,98	-2,51	3,15

Los valores obtenidos en las Tabla 18 y 19, son datos que nos acercan a la realidad, ya que comparando los datos con los del Gráficos 1 y 2 donde muestra el comportamiento de la precipitación en la zona, concuerdan, ya que entre los meses de marzo a mayo, octubre y noviembre son lluviosos, lo cual es inversamente proporcional a la necesidad de riego por lo en estos meses no hay necesidad de aplicar lámina de agua de riego mientras que en los meses de junio a septiembre es la temporada más seca por lo que es necesario el uso de agua de riego.

5.4 Balance hídrico (infiltración)

Para el cálculo de la infiltración de las zona de estudio se consideraron los parámetros anteriormente calculados para las cuencas y subcuencas (precipitación, evapotranspiración real escurrentía o análisis de caudal y recarga por agua de riego), en la Tabla 20 y 21 se presentaron dos balances en cada una, considerando las precipitaciones con probabilidad de excedencia del 50% y otro balance considerando las precipitaciones con probabilidad de excedencia del 75%, de igual forma se presenta la infiltración total anual para los dos escenarios establecidos. Cabe recordar que para la realización de los balances se considerando el cálculo de la evapotranspiración potencial con el método del tanque evaporímetro clases A.

- Valle del Patía

Tabla 20 Balance hídrico y cálculo de infiltración del Valle del Patía

Balance 1 considerando una precipitación con probabilidad de excedencia del 50% (mm/mes)												
Precipitación con probabilidad de excedencia del 50% (mm/mes)												
Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	
197,3	125,9	199,3	198,9	160,6	56,4	28,3	25,1	88,2	240,9	263,1	224,5	
Caudales medios mensuales multianuales (mm/mes)												
Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	
88,2	98,8	107	127,7	69,3	59,7	43,4	26,4	8,4	51,7	140,1	209,4	
Evapotranspiración real (mm/mes)												
Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	
81,6	78,3	79,8	77	75,8	79,3	91,1	101,8	119,6	87	72,4	76	
Recarga por agua de riego (mm/mes)												
27,60	26,38	1,75	-5,00	13,09	85,83	117,18	126,19	96,22	-28,89	-40,73	-18,17	
Infiltración considerando una precipitación con probabilidad de excedencia del 50% (mm/mes)												Infiltración (mm/año)
Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	
55,10	-24,8	14,25	-10,8	28,59	3,23	10,98	23,09	56,42	73,31	9,87	33,27	308,11
Balance 2 considerando una precipitación con probabilidad de excedencia del 75% (mm/mes)												
Precipitación con probabilidad de excedencia del 75% (mm/mes)												
Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	
86,3	78,7	123,4	130,3	81,1	14	7,6	5,7	41,3	190,8	217,1	151,9	
Caudales medios mensuales multianuales (mm/mes)												
Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	
88,2	98,8	107	127,7	69,3	59,7	43,4	26,4	8,4	51,7	140,1	209,4	
Evapotranspiración real (mm/mes)												
Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	
81,6	78,3	79,8	77	75,8	79,3	91,1	101,8	119,6	87	72,4	76	
Recarga por agua de riego (mm/mes)												
27,60	26,38	1,75	-5,00	13,09	85,83	117,18	126,19	96,22	-28,89	-40,73	-18,17	
Infiltración considerando una precipitación con probabilidad de excedencia del 75% (mm/mes)												Infiltración (mm/año)
Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	
-55,9	-72,0	-61,6	-79,4	-50,9	-39,2	-9,72	3,69	9,52	52,1	4,6	-151,7	69,9

- Norte del Departamento del Cauca

Tabla 21 Balance hídrico y cálculo de infiltración del norte del Departamento del Cauca

Subcuencas	Área (m ²)	Balance 1 Considerando una precipitación con probabilidad de excedencia del 50% (mm/mes)												Infiltración por cuenca (mm/año)	Infiltración x Área (mm/año x m ²)	Infiltración ponderada (mm/año)
		Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic			
Rio Palo	1509015953	10,9	-5,1	4,4	2,7	-41,2	-61,5	-10,7	10,4	10,9	66,5	48,2	3,8	157,7	237952106524	242,8
Zanjón oscuro	94588460	0,4	-65,8	-160,2	-215,5	-186,6	-58,5	3,8	5,2	8,2	-236,0	-171,0	-71,3	17,5	1651846518	
La Quebrada	160701332	64,9	49,9	42,8	77,3	20,9	8,3	32,8	30,9	54,9	84,7	83,5	64,3	615,3	98872254282	
Rio Desbaratado	59069938	40,8	34,3	29,3	29,0	-0,5	-41,1	-7,2	18,3	31,4	66,3	81,8	1,6	332,4	19634807559	
Rio Quinamayo	289515562	55,1	37,1	57,0	73,3	43,6	-5,3	17,6	17,1	40,7	110,3	102,0	42,8	596,5	172691852108	
Qda. Sopera	15874977	-19,0	-57,2	-30,6	28,6	-30,6	-67,1	-19,3	-37,2	-11,8	22,4	36,3	-35,3	87,2	1384327548	
Qda. La Tabla	40732107	-13,5	-54,0	-39,3	29,1	-46,3	-72,8	-22,8	-34,8	-17,3	41,1	39,8	-22,3	109,9	4476426774	
Rio Cañavalejo	14842528	-11,3	-46,3	-30,1	33,1	-6,4	-34,0	-24,8	-33,9	-16,0	59,4	81,8	-13,8	174,4	2588378324	
Directos (fid04)	12179680	-62,1	-87,2	-36,1	17,7	-40,7	-59,3	-23,7	-47,1	-20,1	-1,9	22,4	-61,0	40,1	488035397	
Directos (fid05)	25796949	-50,2	-54,5	-14,4	44,9	-12,4	-59,5	-70,2	-91,5	-33,5	28,3	43,7	-37,2	116,9	3014810882	
Directos (fid07)	416818	-76,7	-89,2	-17,9	33,6	-34,7	-65,0	-82,4	-109,6	-37,2	3,2	32,0	-40,2	68,8	28681134	
Directos (fid08)	29344103	-30,6	-43,0	-6,6	62,9	-3,4	-54,4	-66,9	-991,5	-24,3	47,8	60,4	-17,8	171,1	5020702153	
Directos (fid11)	9741481	-42,1	-55,1	-27,6	38,9	-10,2	-54,0	-82,1	-93,5	-38,9	48,3	59,8	-16,1	147,0	1432382339	
Total															549236611543	

Cont. Tabla 21. Balance hídrico y cálculo de infiltración del norte del Departamento del Cauca

Subcuencas	Área (m ²)	Balance 1 Considerando una precipitación con probabilidad de excedencia del 75% (mm/mes)												Infiltración por cuenca (mm/año)	Infiltración x Área (mm/año x m ²)	Infiltración ponderada (mm/año)
		Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic			
Rio Palo	1509015953	-64,7	-41,9	-56,3	-8,6	-64,4	-85,4	-27,2	15,1	-14,2	14,5	15,8	-53,2	45,5	68674765567	
Zanjón oscuro	94588460	-50,7	-109,1	-208,0	-279,0	-228,3	91,9	-15,0	2,6	-35,8	-283,2	-216,7	-102,7	94,5	8940804603	
La Quebrada	160701332	-11,5	-7,5	-3,2	11,4	22,9	-24,2	4,8	11,8	20,8	23,5	37,8	-8,8	133,0	21376143008	
Rio Desbaratado	59069938	-23,4	-19,6	-34,7	-9,2	-43,3	-70,6	-23,9	8,2	4,6	11,7	18,3	-29,9	42,8	2527864171	
Rio Quinamayo	289515562	-26,8	-14,7	11,2	1,7	8,2	-44,2	-11,3	-4,5	6,5	57,8	39,1	-38,5	124,4	36027109351	
Qda. Sopera	15874977	-93,4	-84,2	-86,5	-54,4	-68,2	-94,7	-46,2	-54,2	-60,9	-42,1	-14,3	-68,9	-	-	
Qda. La Tabla	40732107	-96,0	-88,0	-88,8	-54,7	-71,1	-95,6	-47,8	-57,0	-63,7	-34,1	-5,6	-64,7	-	-	61,6
Rio Cañaveralejo	14842528	-98,1	-92,4	-75,9	-50,1	-54,2	92,9	-52,2	-61,6	-65,6	-4,3	14,7	-66,4	107,6	1596447890	
Directos (fid04)	12179680	-111,7	-114,4	-75,8	-54,4	-76,9	-99,7	-43,9	-61,1	-61,2	-46,2	-25,9	-95,3	-	-	
Directos (fid05)	25796949	-113,0	-87,9	-55,2	-29,7	-50,7	-100,1	-92,8	-108,6	-74,0	-20,8	-6,5	-71,6	-	-	
Directos (fid07)	416818	-124,7	-113,8	-58,0	-37,8	-68,3	-102,8	-100,7	-121,6	-76,5	-39,0	-15,3	-73,5	-	-	
Directos (fid08)	29344103	-104,4	-82,0	-49,2	-16,2	-43,5	-96,9	-91,3	-112,6	-68,2	0,5	5,7	-57,9	6,1	179936691	
Directos (fid11)	9741481	-120,9	-96,1	-70,0	-40,4	-53,2	-104,8	-107,0	-118,7	-86,3	0,3	1,1	-61,5	1,4	13723548	
Total															13933679483	

5.5 Recarga natural a los acuíferos

- Valle del Patía

Tabla 22 Determinación variación del contenido de humedad en el suelo.

No. Perfil	Área (ha)	Tipo de suelo	Da (gr/cm ³)	Capacidad de Campo (%)	Punto de marchitez permanente (%)	Profundidad efectiva (mm)	Da *Área	CC *Área	PMP *Área	Profundidad* Área
cc-25	26,48	FrAr	1,03	30	16	445	27	794	424	11784
cc-40	9,70	FrAr	1,44	30	16	470	14	291	155	4559
cc-49	16,22	FrA	0,66	29	10	543	11	470	162	8813
p-246	8,90	FrA	1,43	29	10	430	13	258	89	3827
p-282	1,82	FrA	0,98	29	10	464	2	53	18	844
p-271	9,70	FrAr	0,955	30	16	150	9	291	155	1455
cc-12	28,15	FrA	1,43	29	10	220	40	816	282	6193
p-300	9,81	FrA	1,11	29	10	450	11	284	98	4415
p-274	11,09	FrA	1,18	29	10	380	13	322	111	4214
p-301	4,56	ArFr	1,22	14	4	540	6	64	18	2462
cc-57	10,45	FrA	1,44	29	10	390	15	303	105	4076
cc-58	10,56	Ar	0,96	9	34	695	10	95	359	7339
cc-14	11,98	FrA	1,48	29	10	265	18	347	120	3175
cc-17	23,32	FrAr	0,7	30	16	380	16	700	373	8862
p-333	4,56	FrAL	1,21	23	9	411	6	105	41	1874
cc-20	15,46	FrA	0,57	29	10	733	9	448	155	11337
p-268	17,01	FrAr	0,7	30	16	450	12	510	272	7655
p-280	15,32	FrA	1,29	29	10	300	20	444	153	4596
cc-68	23,76	Ar	1,17	9	34	325	28	214	808	7722
cc-69	17,42	FrA	1,38	29	10	400	24	505	174	6968
cc-70	14,16	FrA	0,635	29	10	440	9	411	142	6230
cc-71	1,80	FrA	0,635	29	10	550	1	52	18	990
cc-16	27,12	FrA	0,94	29	10	600	25	786	271	16272
cc-73	23,66	Fr	1,43	34	12	230	34	804	284	5442
cc-25	22,25	FrAr	1,03	30	16	445	23	668	356	9901
cc-75	4,87	FrA	1,39	29	10	395	7	141	49	1924
cc-76	2,21	FrAr	1	30	16	440	2	66	35	972
cc-77	4,44	FrArA	0,99	32	11	475	4	142	49	2109
p-272	2,72	FrA	1,01	29	10	450	3	79	27	1224
p-273	2,72	Fr	0,5175	34	12	462,5	1	92	33	1258
p-337	2,70	FrA	0,85	29	10	450	2	78	27	1215
cc-41	6,31	FrA	0,85	29	10	495	5	183	63	3123

Cont. Tabla 22. Determinación variación del contenido de humedad en el suelo.

No. Perfil	Área (ha)	Tipo de suelo	Da (gr/cm ³)	Capacidad de Campo (%)	Punto de marchitez permanente (%)	Profundidad efectiva (mm)	Da *Área	CC *Área	PMP *Área	Profundidad* Área
cc-42	1,11	FrAr	23,9	30	16	425	27	33	18	472
cc-43	11,12	FrA	1,555	29	10	500	17	322	111	5560
cc-44	11,23	Fr	1,405	34	12	300	16	382	135	3369
cc-87	6,98	FrA	1,29	29	10	344	9	202	70	2401
Área (ha)	422									
Σ Densidad aparente* Área				489	Densidad aparente ponderada					1,2
Σ CC* Área				11.759	CC ponderada					27,9
Σ PMP* Área				5.759	PMP ponderada					13,7
Σ Profundidad* Área				174.632	Profundidad ponderada					414,1

Los suelos en el Valle del Patía tienen a ser arcillosos, como lo demuestra su capacidad de campo en la Tabla 23 está en un rango de 27,9%, por lo que la retención de humedad en la capa radicular va a ser mayor, disminuyendo así el paso de agua al capas sub-superficiales y por ende afectando la recarga a los acuíferos. Teniendo en cuenta la infiltración de la zona de estudio y la ecuación 21 se determinó la recarga los acuíferos del Valle del Patía como se muestra en la Tabla 23.

$$\Delta\theta = \frac{(27,9 - 13,7) * \frac{1,2 \text{ g/cm}^3}{1 \text{ g/cm}^3}}{100} * 414 \text{ mm}$$

$$\Delta\theta = 68,32 \text{ mm}$$

Tabla 23 Recarga al acuífero del Valle del Patía con probabilidad de excedencia de 50% y 75%

Probabilidad de excedencia	Infiltración (mm/año)	Δ Humedad en el suelo (mm)	Recarga al acuífero (mm/año)	Recarga al acuífero (m/año)	Recarga al acuífero (m ³ /año)
50%	308,1	68,32	239,79	0,2398	78.783.005
75%	69,9	68,32	1,59	0,00159	522.395

La recarga de agua a los acuíferos depende de muchos factores climáticos por lo que ve afectado por un cambio en alguno de ellos, en el Valle del Patía se consideraron dos cambios en la excedencia de la precipitación como muestra la Tabla 23, en el caso de la precipitación con probabilidad del 50%, el valor de recarga fue de 239,79 mm/año que equivale al 77,8% del valor infiltrado y en el caso de la incidencia de la precipitación del 75%, el valor de recarga fue de 1,59 mm/año que equivale al 2,3% del valor infiltrado.

- **Norte del Departamento del Cauca**

Tabla 24 Determinación variación del contenido de humedad en el suelo.

No. Perfil	Área (ha)	Tipo de suelo	Da (gr/cm ³)	Capacidad de Campo (%)	Punto de marchitez permanente (%)	Profundidad efectiva (mm)	Da *Área	CC *Área	PMP *Área	Profundidad* Área
cc-1	33,49	FrAr	0,9	30	16	410,0	31	1005	536	13731
cc-3	39,25	Ar	1,2	38	34	385,0	48	1492	1335	15111
cc-52	43,66	FrAr	1,4	30	16	380,0	62	1310	699	16591
cc-61	55,30	FrA	0,6	29	10	405,0	34	1604	553	22397
cc-63	37,10	FrAL	0,8	23	9	440,0	29	853	334	16326
cc-64	4,32	Ar	1,1	38	34	300,0	5	164	147	1296
p-31	21,43	FrA	0,9	29	10	300,0	19	621	214	6429
p-35	15,75	FrA	1,0	29	10	530,0	16	457	158	8348
c-11	23,56	FrA	0,9	29	10	415,0	22	683	236	9777
cc-10	31,65	FrAr	0,8	30	16	415,0	26	950	506	13135
t-18	43,85	FrA	0,9	29	10	495,0	37	1272	439	21706
cc-53	35,52	FrAr	1,2	30	16	605,0	43	1066	568	21490
cc-13	19,80	FrAr	1,6	30	16	230,0	32	594	317	4554
p-11	55,60	FrA	0,6	29	10	860,0	31	1612	556	47816
cc-15	19,02	Ar	1,0	38	34	700,0	20	723	647	13314
p-37	43,67	FrA	0,6	29	10	405,0	27	1266	437	17686
cc-59	54,12	FrAL	0,2	23	9	500,0	13	1245	487	27060
cc-18	26,71	FrAr	1,3	30	16	613,3	33	801	427	16381
v-157	12,74	Ar	0,9	38	34	549,0	12	484	433	6994
cc-61	53,56	FrA	0,6	29	10	405,0	33	1553	536	21692
v-162	56,74	Ar	0,9	38	34	310,0	54	2156	1929	17589
v-151	17,54	FrAr	0,84	30	16	1025,0	15	526	281	17979
cc-23	64,32	FrA	1,2	29	10	466,6	75	1865	643	30012
cs-05	37,40	AFr	1,1	14	4	420,0	41	524	150	15708
cc-64	8,62	Ar	1,1	38	34	300,0	10	328	293	2586
cc-26	87,18	FrA	0,7	29	10	380,0	61	2528	872	33128
cc-27	39,25	FrA	0,8	29	10	240,0	33	1138	393	9420

Cont. Tabla 23. Determinación variación del contenido de humedad en el suelo.

No. Perfil	Área (ha)	Tipo de suelo	Da (gr/cm ³)	Capacidad de Campo (%)	Punto de marchitez permanente (%)	Profundidad efectiva (mm)	Da *Área	CC *Área	PMP *Área	Profundidad* Área
cc-31	47,26	FrAr	1,1	30	16	340,0	53	1418	756	16068
cc-32	43,86	Ar	1,3	38	34	290,0	55	1667	1491	12719
cc-33	26,13	Ar	1,1	9	34	600,0	29	235	888	15678
cc-35	43,86	FrAr	1,5	30	16	1210,0	64	1316	702	53071
cc-36	56,67	FrAr	1,1	30	16	540,0	64	1700	907	30602
cc-37	65,67	Ar	1,1	9	34	470,0	71	591	2233	30865
cc-38	83,34	FrA	0,4	29	10	480,0	35	2417	833	40003
cc-39	53,44	Fr	0,5	34	12	395,0	28	1817	641	21109
cc-67	36,53	FrA	0,5	29	10	380,0	17	1059	365	13881
cc-69	68,16	FrA	1,4	29	10	415,0	94	1977	682	28286
cc-72	17,65	FrArA	1,4	32	12	395,0	25	565	212	6972
cc-74	47,62	FrArA	1,5	32	12	430,0	70	1524	571	20477
cs-23	13,66	FrA	1,2	29	10	560,0	17	396	137	7650
Área (ha) 1.585										
Σ Densidad aparente* Área				1.482	Densidad aparente ponderada				0,9	
Σ CC* Área				45.501	CC ponderada				28,7	
Σ PMP* Área				24.541	PMP ponderada				15,5	
Σ Profundidad* Área				745.636	Profundidad ponderada				470,4	

En el caso del Norte del Departamento del Cauca hay más presencia de suelos arcillosos, su rango de Capacidad de campo es de 28,71%, por lo que la retención de humedad en el suelo es muy buena, disminuyendo así el paso de agua al capas sub-superficiales. Teniendo en cuenta la infiltración de la zona de estudio y la ecuación 21 se determinó la recarga los acuíferos del Norte del Cauca como se muestra en la Tabla 25.

$$\Delta\theta = \frac{(28,7 - 15,5) * \frac{0,9 \text{ g/cm}^3}{1 \text{ g/cm}^3}}{100} * 470,4 \text{ mm}$$

$$\Delta\theta = 58,15 \text{ mm}$$

Tabla 25 Recarga al acuífero del Norte del departamento del Cauca con probabilidad de excedencia de 50% y 75%

Probabilidad de excedencia	Infiltración (mm/año)	Δ Humedad en el suelo (mm)	Recarga al acuífero (mm/año)	Recarga al acuífero (m/año)	Recarga al acuífero (m³/año)
50%	242,80	58,15	184,65	0,18	278.636.436
75%	61,6	58,15	3,45	0,00345	5.206.042

En la zona de estudio del Norte del Departamento del Cauca se tuvo más variables en cuenta la momento de realizar el balance hídrico pero el comportamiento de la recarga al acuífero es similar, en el caso de incidencia de la precipitación del 50%, el valor de recarga fue de 184,65 mm/año que equivale al 76% del valor infiltrado y en el caso de la incidencia de la precipitación del 75%, el valor de recarga fue de 3,45 mm/año que equivale al 6% del valor infiltrado.

5.6 Balance con años de incidencia del fenómeno del niño

5.6.1 Balance hídrico (Infiltración)

Se planteó un balance hídrico para los años donde hubo ocurrencia del fenómeno del niño, teniendo en cuenta la metodología contemplada en el convenio interadministrativo 0330 de 2013 CRC – Universidad del Valle, para la estimación de la recarga de los acuíferos en las dos zonas de estudio.

- **Valle del Patía**

Tabla 26 Precipitación con probabilidad de excedencia del 50% y 75 % en años niño. Valle del Patía

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Precipitación con probabilidad de excedencia del 50% (mm/mes)												
Subcuenca Valle del Patía	136,2	100,3	153,5	188,6	152,9	30,6	21,1	29,6	100,1	180,9	231,4	189,9
Precipitación con probabilidad de excedencia del 75% (mm/mes)												
	94,05	82,38	112,69	147,12	116,13	61,31	48,10	38,27	60,26	168,20	202,68	150,34

Tabla 27 Evapotranspiración real en años niños. Valle del Patía

Valores totales mensuales de EVR (mm/mes)												
Subcuenca Valle del Patía	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
	86,1	80,8	83,8	76,2	72,4	83,1	102,6	108,3	105,2	86,7	74,5	76,0

Tabla 28 Estimación de Caudales en años niños. Valle del Patía

Días del mes	Caudales medios mensuales multianuales (m ³ /s)												Área (m ²)
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	
	31	29	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31	
	6,54	0,82	1,01	8,63	5,60	4,49	4,02	2,83	0,01	8,06	23,84	28,09	328550000
Valle del Patía	Caudales medios mensuales multianuales (mm/mes)												
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	
	53,28	6,24	8,20	68,08	45,68	35,39	32,75	23,06	0,07	65,68	188,11	228,96	

Tabla 29 Balance hídrico con años niño. Valle del Patía

Balance 1 considerando una precipitación con probabilidad de excedencia del 50% (mm/mes)												
Precipitación con probabilidad de excedencia del 50% (mm/mes)												
Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	
136	100	153,5	189	153	30,6	21,06	29,6	100,1	180,9	231,45	190	
Caudales medios mensuales multianuales (mm/mes)												
Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	
53,3	6,24	58,2	68,1	45,7	35,4	32,75	23,1	0,0676	65,68	188,11	229	
Evapotranspiración real (mm/mes)												
Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	
86,1	80,8	83,84	76,2	72,4	83,1	102,6	108	105,18	86,74	74,536	76	
Infiltración considerando una precipitación con probabilidad de excedencia del 50% (mm/mes)												Infiltración (mm/año)
Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	
-3,2	13,2	11,5	44,3	34,9	-87,9	-114	-102	-5,124	28,5	-31,2	-115	132,36
Balance 2 considerando una precipitación con probabilidad de excedencia del 75% (mm/mes)												
Precipitación con probabilidad de excedencia del 75% (mm/mes)												
Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	
94,1	82,4	113	147	116	61,3	48,1	38,27	60,3	168	203	150,3	
Caudales medios mensuales multianuales (mm/mes)												
Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	
53,3	6,24	8,2	68,1	45,7	35,4	32,75	23,06	0,07	65,7	188	229	
Evapotranspiración real (mm/mes)												
Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	
86,1	80,8	83,8	76,2	72,4	83,1	102,6	108,3	105	86,7	74,5	76,02	
Infiltración considerando una precipitación con probabilidad de excedencia del 75% (mm/mes)												Infiltración (mm/año)
Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	
-45	-4,7	20,6	2,79	-1,9	-57	-87,3	-93,1	-45	15,8	-60	-155	39,2

- Norte del Departamento del Cauca

Tabla 30 Precipitación con probabilidad de excedencia del 50% y 75 % en años niño.
Norte del Departamento del Cauca

Subcuenca	Precipitación con probabilidad de excedencia del 50% (mm/mes)											
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Rio Palo	84,46	80,86	150,91	173,49	114,06	66,50	39,69	24,47	66,29	117,11	215,99	136,81
Zanjón Oscuro	63,62	49,71	142,77	205,12	134,88	80,91	31,09	24,08	75,92	56,44	189,46	100,60
La Quebrada	102,81	107,79	178,41	241,83	148,06	83,46	29,09	34,66	90,57	159,41	239,19	177,58
Rio Desbaratado	105,66	64,41	155,76	158,05	101,01	57,58	29,08	25,53	66,99	91,47	198,78	123,84
Rio Quinamayo	121,13	128,25	191,31	217,62	188,51	131,21	49,40	42,24	91,96	139,43	225,54	181,46
Quebrada Sopera	82,52	102,36	158,03	233,69	163,32	81,96	41,67	36,08	71,36	74,64	227,91	126,84
Quebrada La Tabla	83,45	95,76	167,87	237,58	159,42	91,37	45,34	30,03	98,71	116,30	189,46	126,27
Rio Cañaveralejo	101,43	117,78	179,95	215,01	191,75	114,79	50,76	55,97	111,04	131,69	212,50	153,08
Directos (FID04)	76,76	34,87	143,87	233,65	140,87	81,96	39,92	45,03	85,09	88,98	155,31	74,35
Directos (FID05)	80,87	81,28	167,90	256,76	118,09	98,37	61,61	27,09	91,47	111,58	222,31	120,14
Directos (FID07)	65,98	36,87	143,82	233,88	169,03	81,96	27,98	18,20	51,25	71,36	166,42	99,97
Directos (FID08)	87,65	88,76	179,95	245,98	163,32	131,03	39,92	28,28	87,10	90,15	189,46	153,08
Directos (FID11)	110,87	132,87	180,98	250,15	132,87	125,88	55,23	36,12	100,01	107,21	235,24	121,14
Subcuenca	Precipitación con probabilidad de excedencia del 75% (mm/mes)											
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Rio Palo	35,76	62,41	91,13	133,92	81,62	40,24	17,93	18,20	35,60	141,94	156,70	106,96
Zanjón Oscuro	26,61	35,85	74,41	146,22	106,09	61,09	15,30	23,28	46,22	96,41	109,96	83,15
La Quebrada	36,67	101,29	113,72	166,44	113,41	47,13	18,75	18,64	51,50	170,77	171,78	138,20
Rio Desbaratado	51,77	51,77	76,16	155,45	72,60	40,97	20,30	23,58	46,82	117,92	154,88	93,56
Rio Quinamayo	52,62	105,94	129,49	163,66	116,51	53,57	21,92	25,26	70,87	154,17	169,93	119,46
Quebrada Sopera	26,18	73,18	101,30	140,90	105,40	59,40	21,40	23,40	50,70	119,91	147,53	87,40
Quebrada La Tabla	41,85	135,87	103,40	160,70	120,90	54,55	22,30	29,70	48,60	140,35	151,73	105,28
Rio Cañaveralejo	57,51	120,18	122,76	145,46	156,73	93,50	19,40	34,20	92,65	159,25	158,98	113,70
Directos (FID04)	34,01	56,56	90,60	170,26	110,40	48,74	17,80	22,60	44,97	116,70	115,90	86,15
Directos (FID05)	41,85	56,98	96,54	150,60	96,00	63,54	20,10	25,26	48,80	122,60	140,10	79,40
Directos (FID07)	23,76	26,33	71,89	147,20	113,41	50,50	18,20	17,70	46,30	80,57	108,66	81,90
Directos (FID08)	18,35	88,66	99,20	180,60	95,60	45,90	20,20	31,22	45,39	123,05	142,40	93,43
Directos (FID11)	36,77	118,65	97,66	150,30	130,75	68,69	22,60	33,20	66,60	155,41	150,30	110,43

Tabla 31 Evapotranspiración real en años niños. Norte del Departamento del Cauca

Subcuenca	Evapotranspiración Real (mm/mes)											
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Rio Palo	94,42	89,61	94,83	83,22	81,24	80,27	97,01	115,17	91,97	85	76,9	90
Zanjón Oscuro	101,17	82,58	101,38	86,51	92,29	85,63	98,26	116,41	95,53	89	79,8	94
La Quebrada	96,65	97,59	102,03	93,09	89,07	84,92	103,89	108,89	97,04	92	82,3	95
Rio Desbaratado	94,12	84,36	95,63	78,52	82,08	80,56	95,90	101,41	89,07	86	68	87
Rio Quinamayo	100,50	96,50	101,32	92,36	87,34	79,80	109,89	96,87	96,82	92	83,6	94
Quebrada Sopera	98,34	99,55	96,13	91,65	86,52	92,87	97,81	100,88	95,47	95	84,1	94
Quebrada La Tabla	96,57	100,14	96,98	94,32	90,86	91,54	99,33	98,97	96,80	94	83,4	95
Rio Cañaveralejo	98,69	94,98	99,71	90,94	85,88	90,71	98,46	91,98	97,46	95	85,9	94
Directos (FID04)	93,82	84,14	94,07	80,73	88,19	79,90	101,67	112,56	91,89	90	80,5	91
Directos (FID05)	98,03	92,39	97,57	94,08	95,52	93,48	95,18	111,56	97,23	94	82,9	96
Directos (FID07)	86,09	83,12	83,85	74,86	81,98	74,77	98,74	92,70	87,29	88	78,9	85
Directos (FID08)	100,06	99,35	97,18	95,72	93,48	92,35	96,36	116,90	98,93	96	86,1	97
Directos (FID11)	95,34	95,69	96,12	92,16	94,48	88,83	97,12	97,23	96,33	97	78,5	94

Tabla 32 Estimación de Caudales en años niños. Norte del Departamento del Cauca

Subcuenca	Caudales medios mensuales multianuales (mm/s)											
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Rio Palo	60,3	41,3	57,5	73,0	68,4	47,5	34,4	25,7	22,6	52,3	73,5	75,1
Zanjón Oscuro	84,1	119,5	221,4	331,8	241,3	69,6	25,2	47,9	91,3	308,1	259,8	118,4
La Quebrada	27,7	27,4	43,5	49,5	35,5	4,4	1,3	1,3	13,9	56,8	61,8	34,7
Rio Desbaratado	5,8	4,1	6,7	7,9	8,8	7,4	6,1	3,7	2,2	6,9	9,8	9,3
Rio Quinamayo	36,2	29,7	38,6	46,7	42,7	28,6	16,3	11,6	10,5	25,2	48,7	45,4
Quebrada Sopera	98,4	97,1	102,7	112,9	106,2	76,5	43,8	57,2	69,1	71,2	72,6	79,7
Quebrada La Tabla	101,8	100,4	106,2	116,8	109,9	79,1	45,3	59,2	71,5	73,6	75,2	82,5
Rio Cañaveralejo	107,5	106,1	112,2	123,4	116,0	83,6	47,8	62,6	75,5	77,8	79,4	87,1
Directos (FID04)	98,4	97,1	102,8	113,0	106,3	76,5	43,8	57,3	69,2	71,2	72,7	79,8
Directos (FID05)	78,8	77,8	82,3	90,5	85,1	61,3	35,1	45,9	55,4	57,0	58,2	63,9
Directos (FID07)	84,4	83,3	88,1	96,8	91,1	65,6	37,6	49,1	59,3	61,0	62,3	68,4
Directos (FID08)	75,8	74,8	79,2	87,0	81,9	59,0	33,7	44,1	53,3	54,9	56,0	61,5
Directos (FID11)	92,4	91,2	96,5	106,1	99,7	71,8	41,1	53,8	64,9	66,9	68,2	74,9

- Norte del Departamento del Cauca

Tabla 33 Balance hídrico con años de ocurrencia del fenómeno del niño con excedencia de precipitación del 50%. Norte del Departamento del Cauca

Subcuencas	Área (m ²)	Balance 1 Considerando una precipitación con probabilidad de excedencia del 50% (mm/mes)												Infiltración por cuenca (mm/año)	Infiltración x Área (mm/año x m ²)	Infiltración ponderada (mm/año)
		Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic			
Rio Palo	1509015953	-70,2	-50,1	-1,4	17,3	-35,6	-61,3	-91,7	-116,4	-48,3	-20,3	65,7	-28,3	83,0	125199986978	
Zanjón Oscuro	94588460	-121,6	-152,3	-180,0	-213,2	-198,7	-74,3	-92,4	-140,2	-110,9	-341,1	-150,1	-111,3	-	-	
La Quebrada	160701332	-21,5	-17,2	32,9	99,2	23,5	-5,8	-76,1	-75,6	-20,3	10,7	95,1	47,7	309,2	49685248628	
Rio Desbaratado	59069938	5,7	-24,1	53,4	71,7	10,2	-30,4	-72,9	-79,6	-24,3	-1,3	121,0	27,7	289,6	17108041670	
Rio Quinamayo	289515562	-15,6	2,1	51,4	78,6	58,5	22,8	-76,8	-66,2	-15,3	22,7	93,2	41,8	371,1	107445087932	
Quebrada Sopera	15874977	-114,2	-94,3	-40,8	29,2	-29,4	-87,4	-99,9	-122,0	-93,2	-91,4	71,2	-47,3	100,3	1592686155	
Quebrada La Tabla	40732107	-114,9	-104,8	-35,3	26,5	-41,3	-79,3	-99,3	-128,2	-69,6	-51,7	30,9	-51,0	57,4	2337724015	
Rio Cañaveralejo	14842528	-104,8	-83,3	-32,0	0,7	-10,2	-59,5	-95,5	-98,6	-62,0	-40,7	47,2	-27,6	47,9	710944554	138,5
Directos (FID04)	12179680	-115,5	-146,4	-53,0	39,9	-53,6	-74,5	-105,6	-124,8	-76,0	-72,2	2,2	-96,1	42,1	512767651	
Directos (FID05)	25796949	-96,0	-88,9	-11,9	72,2	-62,5	-56,4	-68,7	-130,3	-61,1	-39,0	81,2	-39,3	153,4	3957884227	
Directos (FID07)	416818	-104,5	-129,5	-28,1	62,2	-4,0	-58,4	-108,3	-123,6	-95,3	-78,1	25,2	-53,0	87,3	36406726	
Directos (FID08)	29344103	-88,2	-85,4	3,6	63,2	-12,0	-20,3	-90,2	-132,8	-65,1	-60,7	47,4	-5,9	110,6	3245122126	
Directos (FID11)	9741481	-76,9	-54,0	-11,6	51,9	-61,4	-34,8	-83,0	-114,9	-61,3	-56,4	88,5	-47,3	140,4	1367991518	
313199892180																

Tabla 34 Balance hídrico con años de ocurrencia del fenómeno del niño con excedencia de precipitación del 75%. Norte del Departamento del Cauca

Subcuencas		Área (m²)	Balance 1 Considerando una precipitación con probabilidad de excedencia del 75% (mm/mes)												Infiltración por cuenca (mm/año)	Infiltración x Área (mm/año x m²)	Infiltración ponderada (mm/año)
		Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic				
Rio Palo	1509015953	-118,9	-68,5	-61,2	-22,3	-68,0	-87,5	-113,5	-122,7	-79,0	4,5	6,4	-58,2	10,9	16405907215	29,7	
Zanjón Oscuro	94588460	-158,7	-	-	-	-	-94,1	-108,2	-141,0	-140,6	-	-	-	-	-		
La Quebrada	160701332	-87,6	-23,7	-31,8	23,8	-11,2	-42,1	-86,5	-91,6	-59,4	22,1	27,7	8,3	73,7	11837467064		
Rio Desbaratado	59069938	-48,2	-36,7	-26,2	69,1	-18,3	-47,0	-81,7	-81,5	-44,4	25,1	77,1	-2,6	171,3	10120207006		
Rio Quinamayo	289515562	-84,1	-20,2	-10,4	24,6	-13,5	-54,9	-104,3	-83,2	-36,4	37,5	37,6	-20,1	99,7	28864313988		
Quebrada Sopera	15874977	-170,5	-	-97,5	-63,6	-87,3	-	-120,2	-134,7	-113,9	-46,1	-9,2	-86,7	-	-		
Quebrada La Tabla	40732107	-156,5	-64,7	-99,8	-50,4	-79,8	-	-122,3	-128,5	-119,7	-27,6	-6,8	-72,0	-	-		
Rio Cañaveralejo	14842528	-148,7	-80,9	-89,2	-68,8	-45,2	-80,8	-126,9	-120,3	-80,3	-13,1	-6,3	-67,0	-	-		
Directos (FID04)	12179680	-158,3	-	-	-23,4	-84,0	-	-127,7	-147,2	-116,1	-44,5	-37,3	-84,3	-	-		
Directos (FID05)	25796949	-135,0	-	-83,3	-33,9	-84,6	-91,2	-110,2	-132,2	-103,8	-28,0	-1,0	-80,1	-	-		
Directos (FID07)	416818	-146,7	-	-	-24,5	-59,7	-89,9	-118,1	-124,1	-100,3	-68,9	-32,6	-71,1	-	-		
Directos (FID08)	29344103	-157,5	-85,5	-77,1	-2,1	-79,7	-	-109,9	-129,8	-106,8	-27,8	0,3	-65,5	0,3	8674211		
Directos (FID11)	9741481	-151,0	-68,2	-94,9	-47,9	-63,5	-92,0	-115,6	-117,8	-94,7	-8,2	3,6	-58,0	3,6	34602891		
67271172374,6																	

5.6.2 Recarga natural a los acuíferos en año niño

Tabla 35 Recarga al acuífero con precipitación en años niño. Valle del Patía

Probabilidad de excedencia	Infiltración (mm/año)	Δ Humedad en el suelo (mm)	Recarga al acuífero (mm/año)	Recarga al acuífero (m/año)	Recarga al acuífero (m ³ /año)
50%	132,36	68,32	64,04	0,06404	21.040.342
75%	39,2	68,32	<u>-29,10</u>	<u>-0,02910</u>	<u>-9.560.805</u>

Tabla 36 Recarga al acuífero con precipitación en años niño. Norte del Departamento del Cauca

Probabilidad de excedencia	Infiltración (mm/año)	Δ Humedad en el suelo (mm)	Recarga al acuífero (mm/año)	Recarga al acuífero (m/año)	Recarga al acuífero (m ³ /año)
50%	138,47	68,32	70,15	0,070	105.856.193
75%	29,7	68,32	<u>-38,62</u>	<u>-0,03862</u>	<u>-58.277.493</u>

La recarga de los acuíferos se ven muy afectados por la disminución o alteración de algunas de las variables climáticas, en este caso de la precipitación. La recarga en el Norte del Departamento del Cauca y en el Valle del Patía se ven afectadas por la disminución de la precipitación en este caso con probabilidad de excedencia del 75%, el acuífero empieza a perder su reserva por el exceso de las salidas en el balance (evapotranspiración, escorrentía).

6. CONCLUSIONES

En la distribución temporal de precipitación en el valle de Patía y el norte del Departamento de Cauca se presenta un régimen de lluvias bimodal bien definido, donde las temporadas de lluvia está comprendidas entre los meses de marzo a mayo y entre Octubre y Noviembre la segunda con una precipitación mayor de 263 mm/mes en el Patía y 257 mm/mes en el norte del departamento del Cauca.

La distribución espacial de precipitación en el norte del Departamento del Cauca presenta una mayor variación que la zona del Valle del Patía, esto debido a que en esta zona la topografía presenta mayor diversidad de pisos térmicos lo que implica distintas intensidades en la precipitación.

La evapotranspiración tiene una tendencia a nivel mensual muy similar; aunque con valores representativos, como en el caso del Valle del Patía el valor de evapotranspiración potencial mayor se presentó en el mes de Septiembre con un valor de 119,6 mm y el menor con 76 mm, caso parecido al del Norte del Departamento del Cauca con valores de 110,3 mm en el mes Agosto y 77,1 mm en el mes de noviembre.

La variación espacial de la evapotranspiración en la zona del valle del Patía es mucho más marcada que en el norte del Cauca, esto como consecuencia a las bajas precipitaciones que se presentan en esta zona y que el área de interés es mucho menor que en el norte del Cauca. La evapotranspiración es entonces inversamente proporcional a la precipitación.

En la distribución temporal de la esorrentía en el valle de Patía y el norte del Departamento de Cauca se presenta un régimen de lluvias bimodal bien definido, donde se presentan los caudales más bajos en el periodo comprendido entre los meses de junio a octubre con valores entre 20,07 m³/s y 59,37 m³/s, mientras que los caudales más altos se presentan en los meses de noviembre, diciembre y enero con valores entre los 162, 36 m³/s y 326,5 m³/s.

Mediante la utilización del modelo de balance hídrico propuesto en el desarrollo de este trabajo, se encontró que los valores de infiltración son de 308,11 mm/año en el caso del Valle del Patía y de 242,8 mm/año para la zona Norte del Departamento del Cauca, en caso de presentarse una probabilidad de excedencia de la precipitación del 50% y suelos franco arcillosos. Esto indica que las zonas de estudio tienen una velocidad lenta de infiltración y un contenido de materia orgánica alto.

La recarga en la zona del Valle del Patía, fue de 239,79 mm/año que equivale al 78% del agua que se infiltra, teniendo una excedencia en la precipitación del 50%; en el caso de la excedencia de la precipitación del 75%, el valor de recarga fue de 1,59 mm/año que equivale al 2,3% del agua infiltrada. En el Norte del Departamento del Cauca la recarga al acuífero es similar a la del Valle del Patía fue de 184,65 mm/año y de 3,45 mm/año que equivale al 76%

y 6% del valor infiltrada respectivamente. De acuerdo a los resultados obtenidos en el estudio desarrollado, los acuíferos se ven muy afectados debido a que desciende su lámina de agua muy drásticamente. Durante los años afectados por el fenómeno del niño esto se hace más evidente debido a que no se presenta recarga en los acuíferos.

Dado el conocimiento hidrogeológico del entorno y la deficiencia de algunos datos y criterios importantes para la construcción del modelo, los resultados alcanzados podrían considerarse una aproximación; permitiendo diagnosticar las deficiencias existentes en el conocimiento básico para realizar una modelación más próxima a la realidad.

7. RECOMENDACIONES

Se sugiere realizar un estudio más detallado acerca de los diferentes cultivos que se pueden encontrar a lo largo de ambas zonas de estudio, de esta manera se puede hacer una mejor interpretación y aproximación a los valores obtenidos sobre la demanda de riego, variable muy importante en el modelo de balance hídrico empleado para la elaboración de este trabajo de grado.

No deben descartarse medidas para reducir la demanda y consumo de agua, sobre la base de la información relacionada a la extracción real de agua en la subcuenca. En el sector doméstico - residencial deberán impulsarse programas de educación en el uso del agua para evitar despilfarro o mal uso del agua. Entre tanto, en los sectores industrial y comercial es imperativo que se promuevan programas de producción más limpia, enfocados en la eficiencia en el uso del agua en las actividades productivas, en especial en temporadas donde el clima se ve afectado por fenómenos atmosféricos (fenómeno del niño).

Es recomendable realizar un estudio más extenso en los acuíferos teniendo en cuenta las propiedades hidráulicas, esto con el fin de tener una idea más precisa del comportamiento de estos cuerpos de agua que se consideran una importante reserva para las futuras generaciones

Se sugiere al organismo encargado (CRC) concientizar y socializar entre los agricultores, habitantes de los municipios del Cauca, sobre la importancia de cuidar la fuentes hídricas superficiales y sub-superficiales. Asimismo es de vital importancia que las concesiones de extracción dadas por este organismo regulador, sean otorgadas según las condiciones climatológicas atípicas que puedan presentarse en las diferentes zonas de interés.

8. BIBLIOGRAFIA

Aguilar, M., Gilberto 2010. Teoría de Valores de Extremos Aplicada a la Gestión de Riesgos en Inundaciones.

Arenas Cuevas, M. 1985. Evaporación y evapotranspiración. XVIII Curso de hidrogeología aplicada. Área II. Hidrogeología de superficie. Instituto geológico y minero de España y Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Minas de Madrid, 40 pp.

Alfaro R; Pacheco, R. 2000. Aplicación de algunos métodos de relleno a series anuales de lluvia de diferentes regiones de Costa Rica. In: Revista Tópicos Meteorológicos, Vol. 7, No.1, 2000; p. 42-45

ANH. (Agencia nacional de hidrocarburo) 2007, citado en: Estudio nacional de agua 2010 Cap 4. Oferta y uso del agua subterránea en Colombia 2010.

Alcaldía del Patía, 2013. Consultado Febrero 2014. Disponible en <http://patia-cauca.gov.co/index.shtml>

Azagra M., Andrés, Pando F., Valentín, Del Rio Jorge, 2006. Aproximación al conocimiento de la infiltración a través del análisis dimensional. Artículo publicado en la revista Ecología No 20 pp 471- 491.

Barlow, R.E and Proschan, F. 1964. Mathematical Theory of Reliability. John Wiley

Barlow, R.E and Proschan, F. 1975. Statistical Theory of Reliability and Life Testing: Probability Models. Halt, Rinehart and Wiston, Inc.

Cañizares, M.; Barroso, I.; Alfonso, K 2004. Datos incompletos: Una mirada crítica para su manejo en estudios sanitarios. 18 (1): p. 58- 63.

Canto, C. DE 1998. “Los mapas temáticos” en Trabajos prácticos en Geografía humana Carrera, C., Canto, C del, Gutiérrez, J., Méndez R. y Pérez, M. Síntesis. Madrid. Pp. 311-396.

Convenio interadministrativo 0330 de 2013. CRC- Universidad del Valle. Diagnóstico de la oferta y demanda hídrica del acuífero del Norte del Departamento del Cauca y Valle del Patía.

Custodio, E.; Llamas, 1983. Manual llamas: “Hidrología Subterráneas” Edición Omega Barcelona (España).

Custodio, E.; Llamas, M.R.; Sauquillo, A., 2000. Retos de la hidrología subterránea. En: Ingeniería del Agua. Vol 7. N°1.

Dane, 2005. Censo general 2005 - Proyecciones nacionales y departamentales de población 2005-2020.

Duarte O., Díaz E. 2003. Tecnología de Tierras y Aguas I. Evaporación y Evapotranspiración. Pag 10.

Englund, E. Sparks 1988. Geostatistical environmental assessment software users guide. Environmental Monitoring Systems Laboratory, Office of Research and Development. Las Vegas, Estados Unidos

ESRI. 2014. ArcGIS Resource Center. Desktop 10. [En línea] disponible en: <http://help.arcgis.com/es/arcgisdesktop/10.0/help/index.html#/na/009z00000075000000>. [Consultado: Febrero de 2014].

FAO (Organización para las naciones unidas para la alimentación y la agricultura) 2006, Evapotraspiracion del cultivo. Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. pag 78-79.

Fernández F. 1995. Manual de climatología aplicada. Clima, medio ambiente y planificación. Madrid. Editorial Síntesis S.A. 285p.

García Gonzales J., Cebrián Abellán F. 2006. La interpolación como método de representación cartográfica para la distribución de la población. Pág. 174.

García M., 2008. Mejora de la gestión de los recursos hídricos por medio de la integración de técnicos de teledetección y modelo de simulación. Cap.1. La evapotranspiración: Concepto y métodos para determinación.

Gnedenko, B.V., Beliaev, Yu. K.and Soloviev A.D 1965. Métodos matemáticos de la confiabilidad. Nauka, Moscu.

Heras Rafael 1970. “Manual de Hidrología”. Centro de Estudios Hidrográficos. Madrid.1970.

IDEAM (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia) 2010. Estudio nacional de aguas. Cap. 4 Oferta y usos de agua subterránea en Colombia.

IDEAM (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia) 2012. Posibles efectos naturales y socioeconómicos del fenómeno del Niño en 2012-2013 en Colombia.

Jiménez, H., 1992. Hidrología básica I. Universidad del valle, Cali. Pág. 187.

Keller, T.; Håkansson, I. 2010. Estimation of reference bulk density from soil particle size distribution and soil organic matter content. *Geoderma* 154: 398-406 Pennock, D.; Yates, T.; Braidek, J. 2008. Soil Sampling Designs. In: Carter, M.R.; Gregorich, E.G. (eds.). 2008. Soil Sampling and methods of analysis. 2nd. Ed. Taylor & Francis Group. LLC. pp 25-39

Llamas, M.R. y Galofre, A., 1976. Conceptos básicos y definiciones. En: Custodio, E. y Llamas M.R. (ed). Hidrología subterránea editorial Omega Barcelona. Pág. 271-283

Lordmann J., Quino H., 2009. Cambio climático, desarrollo económico y energías. Proyecto regional de energía y clima .

López Rodríguez, J.J y Giráldez Cervera J.V. 1997. Evaluación de la modificación de la recarga por cambios en la cobertura vegetal. 209 p.

Moral, F.J. 2003. La representación gráfica de las variables regionalizadas. Geoestadística lineal. Cáceres. Servicio de publicaciones de la Universidad de Extremadura. Pp. 157

Navarro H., Joaquín, 2006 Estudio de la infiltración Cap. 3 pp. 27- 34

Novara, F., 2005. Trabajo practico 4. Balance hídrico, pag. 8.

Olaya, Víctor, 2011. Sistemas de información geográfica. SEXTANTE cap.2 pag 24 -25.

PDM (plan de desarrollo municipal de Patía Cauca), 2012.

Pizarro F. Cabello 1996. RIEGOS LOCALIZADOS DE ALTA FRECUENCIA (RLAF) goteo, micro aspersión, exudación Ediciones mundiprensa

Peña, Juan. 2008. Sistemas de información geográfica aplicados a la gestión del territorio. Departamento de Ecología de la universidad de Alicante, México.

Pierre, J., 1991. Aguas del mediterráneo, Masson S. A., París.

Quintana J., 2000. Mecanismos de Condensación: Precipitación. Tema 5.

Ramírez, Jairo.2012. Caracterización socio-demográfica del área de desarrollo rural del Alto Patía. INCODER.

Rocha, A. 2002. Métodos de análisis en recursos de agua e.ch.v (recurso hídricos)

Rodríguez, M., Cortez, A., Parra, R., 2007. Los sistemas de información geográfica aplicados a la climatología. CENIAP Vol. 13. Aragua, Venezuela.

Samper, J., Llorens, H., Ares J., García M.A. 1999. Manual del usuario programa Visual Balan V.1.0. Código interactivo para la realización de balances hidrológicos y la estimación de la recarga.

Samper, Calvete, F.J., 1997. Métodos de evaluación de la recarga por la lluvia por balance de agua, calibraciones y errores. En Custodio, E; Llamas M.R. y Samper J.,(ed). La evaluación de la recarga de los acuíferos en la planificación hidrológica. Asociación internacional de Hidrólogos. Grupo Español. Las palmas de Gran Canaria, 41-81.

Santos Preciado, J.M. 2004 “Sistemas de Información geográfica”. Madrid. Universidad nacional de Educación a distancia. 460 Pp.

Sarria F. Alonso, 2002. Introducción a los sistemas de información.

Searcy, J & Hardison C. 1983. Traducción de Sabogal N, y Barrero A. HIMAT.36P.

Siabato, W. y Yudego, C.2004. “Geoestadística y Medio Ambiente”. Territorio y Medio Ambiente: Métodos Cuantitativos y Técnicas de Información Geográfica. Aportaciones al XI Congreso de Métodos Cuantitativos, SIG y Teledetección (Asociación de Geógrafos Españoles) y Departamento de Geografía, Universidad de Murcia. Pp.11-25.

Springall Rolando, 1976. “Hidrología”. Universidad Autónoma de México.

Taboada, M.A.; Alvarez, C.R. 2008. Fertilidad física de los suelos.2da Ed. Editorial Facultad de Agronomía. Universidad de Buenos Aires.

USGS (Ciencia para cambiar al mundo) Consultado Febrero 2014. Disponible en www.usgs.gov/climate_landuse/

Vélez María V., 1999. Hidráulica de aguas subterráneas. Edi. 2ª. Cap. 2 El ciclo hidrológico Pág. 20-21.

Vélez, O., Botero, V., Salazar, V., y Gómez J., 2005. Estimación de la recarga de una región colombiana mediante un modelo iterativo. Ingeniería Hidráulica de México. Pág. 61-77.

ANEXO I. INFORMACIÓN HIDROCLIMATOLOGICA

Tabla I -1. Estaciones hidroclimatológicas del norte del Cauca

Nombre	Corriente	Tipo	Norte	Este	Altitud	Inicio	Suspensión
Cabuyal	Desbaratado	Pm	858957	1081301	1	05/15/1953	
Japio	Quilichao	Co	829043	1069757	1,04	06/15/1965	08/15/2003
Tunia	Tunia	Co	787508	1061300	1,8	03/15/1989	
La Catalina	La Teta	Pm	817473	1047389	1,373	01/15/1972	
Venta de Cajibío	Cajibío	Co	777588	1057344	1,85	11/15/1972	
El Silencioso	Timba	Pm	836287	1039820	1,151	04/15/1972	
Univ. del Valle	Meléndez	Cp	865309	1060424	985	12/15/1965	
Villa Rica	Cauca	Pm	843132	1067649	1	10/15/1966	
Miranda	Desbaratado	Co	850686	1094963	1,128	06/15/1965	
Florida	Frayle	Pm	859806	1093232	1,078	05/15/1953	
La Salvajina	Cauca	Pm	817234	1041228	1,13	04/15/1972	
La Aguada	Jambalo	Pm	810304	1074487	2,018	06/15/1972	
Suarez	Cauca	Pm	818516	1042466	1,119	01/15/1952	
Cenicaña	Guachal	am	863416	1086471	1,013	06/15/1981	
Silvia Pta electri	Piendamo	Pm	782014	1080999	2,54	11/15/1946	
Morales	Morales	Pm	797997	1050405	1,36	04/15/1971	
Ovejas Abajo	Ovejas	Pm	807342	1054357	1,29	10/15/1979	
Buenos Aires	La Teta	Pm	825779	1048800	1,05	10/15/1966	
Caloto	La Quebrada	Pm	826837	1074579	1,115	10/15/1966	
Mondomo	Ovejas	Pm	812858	1058984	1,36	03/15/1971	
Cajones	Desbaratado	Pm	848578	1104114	2,37	08/15/1973	
Corinto	La Paila	Pm	843281	1092289	1,1	01/15/1972	
Rio Palo	Palo	Pm	831324	1077781	1,1	07/15/1964	
Ingenio Bengala	Palo	Co	852578	1073466	1	05/15/1965	
Ingenio Cauca	Desbaratado	Co	853321	1081206	1	01/15/1965	
El Amparo	Quinamayo	Pm	819217	1065405	1,85	03/15/1971	
Japio	Quilichao	Pm	828865	1070714	1,04	08/15/2003	
Piendamo	Piendamo	Pm	783969	1059479	1,8	16814	
Mondomo	Ovejas	Pg	812858	1058984	1,47	26299	
Canal Palo	Palo	Lm	832736	1080872	1060	30682	01/07/2005
Buenos Aires	La Teta	Lg	827598	1055457	1040	23743	
Bocatoma	Palo	Lg	830377	1081006	1060	16803	
Pte Carretera	Mondomo	Lg	808764	1060503	1305	19725	01/12/1970
Quilichao	Quilichao	Lm	836500	1050457	1115	19360	01/12/1957
Timba	Timba	Lg	836500	1050457	1059	16803	
Pte Ferrocarril	Quinamayo	Lg	827638	1062899	1023	23743	
Pte Carretera	Piendamo	Lg	782130	1061760	1740	33848	

Cont. Tabla I - 1. Estaciones hidroclimatológicas del norte del Cauca

Nombre	Corriente	Tipo	Norte	Este	Altitud	Inicio	Suspensión
La Balsa	Cauca	Pm	834247	1E+06	986	20090	
Pan de Azucar	Cauca	Pm	794365	1E+06	1,2	27405	
Planta Rio Cauca	Cauca	Pg	872975	1E+06	956	21918	
El Palacio	Jamundí	Pm	855515	1E+06	950	25569	
Ciat Quilichao	La Quebrada	Co	831421	1E+06	977	30317	
El Trapiche	Palo	Pm	825062	1E+06	1,5	25936	
Jambalo	Palo	Pm	799254	1E+06	2,322	26302	
La Calera	Palo	Pm	845349	1E+06	1,92	25936	
Pitayo	Palo	Pm	790239	1E+06	2,5	26299	
Tacueyo	Palo	Pm	829059	1E+06	1,79	26299	
Tesorito	Palo	Pm	825078	1E+06	2,339	25936	
Tominio	Palo	Pm	830597	1E+06	1,838	25936	
Toribio	Palo	Pm	817690	1E+06	1,713	25936	
Mandiva	Quinamayo	Ev	818040	1E+06	1,11	27034	
El Aguila	Quinamayo	Pm	812152	1E+06	1,805	25938	
Samarkanda	Timba	Ev	843322	1E+06	1,527	28857	
Cal. del Efluente	Cauca	Lm	854686	1E+06	1020	31048	
Hormiguero	Cauca	Lg	857152	1E+06	956	22647	01/07/2007
La Balsa	Cauca	Lg	833745	1E+06	987	16803	
Salvajina	Cauca	Lm	817260	1E+06	1029	17076	
Ortigal	Desbaratado	Lm	854686	1E+06	987	26359	
Bocatoma	Palo	Lg	830586	1E+06	1060	16650	
Canal Palo Bocatoma	Palo	Lm	830586	1E+06	1060	30256	
Puerto Tejada	Palo	Lg	849007	1E+06	965	16438	
Hda El Espejo	Desbaratado	Pm	857603	1E+06	980	25936	

Tabla I - 2 Estaciones hidroclimatológicas del valle del Patía

Nombre	Cuenca	Tipo	Norte	Este	Altitud	Inicio	Suspensión
Llano verde	Patía	Pm	949899	684143	340	04/15/1987	
Balboa	Patía	Pm	983959	716545	1,7	03/15/1971	
Mamaconde	Patía	Pm	984518	707902	622	09/15/1972	
La Guasca	Patía	Pm	960837	668076	500	05/15/1970	
Patía	Patía	Pg	1002742	720507	680	11/15/1994	
Guachicono	Guachicono	Pm	1008814	717908	840	03/15/1971	
El Estrecho	Sambingo	Pm	995891	709477	720	03/15/1971	
Los Milagros	Sambingo	Co	1020678	685643	2,3	08/15/1972	
Sajandi	Patía	Co	1006768	722132	750	06/15/1971	12/15/1974
Gja Exp Univ Nariño	Patía	Cp	987185	702456	580	08/15/1992	
Pisanda	Patía	Pm	952369	674374	850	04/15/1966	
El Rosario	Patía	Pm	971071	684108	1,7	04/15/1990	
La Mesa	Sajandi	Pm	995323	741848	1,685	08/15/1992	
La Fonda Cítec	Patía	Co	1003511	729067	635	03/15/1974	
Caney El Mojarras	Patía	Pm	981977	701826	350	04/15/1965	
Bolívar	Sambingo	Co	1008176	694113	1,51	06/15/1971	
Mercaderes	Sambingo	Co	990970	686425	1,174	03/15/1971	
El Rodeo	San Jorge	Pm	1009557	699667	1,4	02/15/1967	
Ricaurte	Patía	Pm	888087	701892	100	09/15/1983	03/31/2008
Salahonda	Patía	Pm	824112	717303	6	09/15/1983	
Bocas de Patía	Patía	Pm	956785	800141	40	10/15/1979	
Remolino Grande	Patía	Pm	851045	734033	40	09/15/1983	
Paispamba	Timbio	Co	1051787	740569	2,45	06/01/1994	
La Sierra	Guachicono	C0	1036395	734354	1,87	05/01/1971	
Valencia	Caquetá	Cp	1045478	701911	2,9	04/01/1971	
Pte Guasca	Patía	Lg	960847	668057	450	01/01/1965	01/12/2004
Bocatoma	Sajandi	Lg	1002226	736875	740	01/01/1995	
El Hoyo	Quilcase	Lg	1007587	735969	700	01/01/1995	
Guachicono	Guachicono	Lg	1008283	718047	720	01/08/1992	
Pto Nuevo	Patía	Lg	981211	702843	525	01/01/1965	
La Fonda	Patía	Lg	1003431	729258	700	01/01/1965	
Pte Colgante	Timbio	Lg	1008127	737053	685	01/01/1995	
La Playa	San Jorge	Lg	1007637	709268	710	01/01/1995	
Pte Fierro	Guachicono	Lg	1019857	730223	900	01/01/1995	
Loma Alta	Patía	Lg	986483	708786	620	01/01/1995	
Los Nortes	Patía	Lg	949528	684296	340	01/01/1985	
Pte Carretera	Mamaconde	Lg	985260	709846	615	01/01/1995	

ANEXO II CÁLCULOS TEMPORALES DE PRECIPITACIÓN

Tabla II - 1 Precipitación mensual con probabilidad de excedencia del 50%. Valle del Patía

Nombre	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Llano Verde	197	129	162	151	136	61	41	32	99	246	321	262
Balboa	220	157	190	223	177	47	42	31	93	313	320	294
Mamaconde	116	82	123	149	89	26	18	20	48	190	209	137
La Guasca	47	28	51	68	42	15	11	3	21	84	91	54
Patia	130	120	147	165	98	61	27	23	40	230	267	190
Guachicono	173	114	191	182	166	45	32	26	82	236	249	229
El Estrecho	106	86	93	137	111	31	23	14	66	176	190	159
Los Milagros	151	139	154	159	102	35	21	19	49	195	214	193
Sajandi	219	160	227	240	190	67	39	32	114	234	288	261
Gja Exp Univ Nariño	73	88	113	123	99	44	16	17	38	164	168	145
Pisanda	102	82	111	114	77	46	30	20	70	180	180	152
El Rosario	102	75	112	119	88	47	35	28	65	157	160	109
La Mesa	251	255	270	343	222	84	50	56	127	325	454	440
La Fonda Citec	164	143	201	195	157	68	28	26	92	241	254	213
Caney El Mojarras	92	79	112	130	100	45	26	20	62	182	177	124
Bolívar	150	139	158	199	128	43	21	23	91	251	248	184
Mercaderes	92	88	138	164	131	62	39	36	87	199	193	139
El Rodeo	136	118	157	178	106	37	16	25	61	200	239	161
Ricaurte	426	442	598	677	709	553	402	365	433	506	365	393
Salahonda	478	323	223	338	558	518	345	257	262	285	206	309
Bocas de Patía	680	507	479	710	793	727	568	642	668	774	679	686
Remolino Grande	304	237	188	256	271	205	187	104	138	193	151	193
Paispamba	191	179	173	196	118	50	22	16	44	235	312	273
La Sierra	301	210	245	234	198	60	32	28	93	318	383	398
Valencia	81	70	81	107	89	80	107	71	52	102	113	89

Tabla II - 2 Precipitación mensual con probabilidad de excedencia del 75%. Valle del Patía

Nombre	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Llano Verde	122	88	96	110	79	39	30	19	60	200	241	188
Balboa	90	73	93	189	89	9	12	10	40	242	243	176
Mamaconde	54	57	75	83	53	7	5	6	17	128	123	72
La Guasca	20	15	21	38	24	2	0	0	7	60	47	31
Patia	23	71	82	85	20	10	8	8	12	178	167	147
Guachicono	86	88	138	102	112	17	4	1	45	194	339	159
El Estrecho	50	40	72	78	51	3	4	1	30	240	155	83
Los Milagros	115	84	114	135	57	16	12	9	24	158	147	137
Sajandi	135	103	171	164	111	13	6	5	46	157	223	180
Gja Exp Univ Nariño	30	62	105	101	66	16	6	3	15	127	109	84
Pisanda	74	58	67	95	51	19	14	13	43	142	115	92
El Rosario	39	45	79	90	65	17	14	11	29	106	116	86
La Mesa	162	136	215	224	142	33	37	15	58	249	315	240
La Fonda Citec	96	75	138	142	92	20	5	6	43	183	195	153
Caney El Mojarras	36	47	91	105	66	15	12	7	21	138	125	81
Bolívar	81	83	109	143	70	15	6	6	38	182	207	148
Mercaderes	66	50	113	117	91	31	18	14	56	124	139	109
El Rodeo	43	65	84	109	85	8	5	4	25	150	183	115
Ricaurte	313	297	449	531	587	497	285	251	311	328	233	290
Salahonda	318	241	139	223	386	363	242	171	161	192	151	195
Bocas de Patía	532	357	340	647	681	619	483	510	509	600	492	545
Remolino Grande	168	148	141	182	171	145	95	33	88	136	75	138
Paispamba	103	116	130	141	75	23	9	8	19	176	261	192
La Sierra	160	132	179	169	130	28	19	12	45	228	289	268
Valencia	41	59	52	73	73	56	81	53	37	87	73	72

Tabla II - 3 Precipitación mensual con probabilidad de excedencia del 50%. Zona del norte del departamento del Cauca

Nombre	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Cabuyal	85	89	148	186	112	52	32	31	93	126	153	82
Japio	159	147	180	255	144	81	45	43	103	212	213	167
Tunia	206	183	223	247	167	64	51	38	88	197	304	261
La Catalina	195	172	232	278	224	122	67	75	151	241	266	217
Venta de Cajibío	286	180	240	248	160	83	47	46	83	228	296	272
El Silencioso	141	178	197	339	321	191	118	110	217	298	278	218
Univ del Valle	97	107	155	198	163	83	55	40	103	158	173	144
Villa Rica	133	123	184	256	174	85	56	46	119	194	209	118
Miranda	113	108	173	203	110	58	53	26	124	218	204	118
Florida	105	82	144	220	136	57	30	29	118	194	206	135
La Salvajina	185	173	212	273	251	151	91	90	144	274	281	218
La Aguada	137	169	215	225	156	54	37	42	88	255	266	208
Suarez	175	183	245	280	260	161	94	90	159	279	261	227
Cenicana	88	93	128	154	100	43	25	26	106	143	125	67
Silvia Pta Electri	122	94	153	153	106	35	30	14	41	171	191	173
Morales	262	223	271	287	219	119	105	88	144	257	307	269
Ovejas Abajo Alert	201	192	238	245	180	77	97	54	99	240	270	173
Buenos Aires	190	187	252	318	278	157	92	84	168	265	334	225
Caloto	151	169	172	189	117	66	48	26	79	241	236	208
Mondomo	176	160	184	198	145	81	54	44	86	222	236	167
Cajones	120	107	151	142	131	55	42	44	53	198	218	138
Corinto	125	109	169	187	115	49	35	33	81	191	212	145
Rio Palo	164	190	220	270	198	108	50	39	97	285	353	199
Ingenio bengala	95	83	151	213	140	88	39	27	92	157	165	96
Ingenio Cauca	93	87	139	203	140	75	44	36	107	154	152	98
El Amparo	175	171	229	217	199	86	58	77	127	260	249	69
Japio	154	140	180	255	144	81	45	43	103	212	213	167
La Balsa	164	147	189	302	220	146	61	72	133	271	281	168
Pan de Azúcar	248	236	262	286	232	141	127	85	165	267	315	265
Planta Rio Cauca	66	55	115	147	134	63	40	28	88	112	116	87
Hacienda el Espejo	93	68	171	227	123	74	35	19	92	149	173	104
El Palacio	88	103	164	244	174	92	53	43	137	184	198	134
Ciat Quilichao	151	134	171	230	161	97	52	54	131	208	206	168
Mondomo	165	163	195	201	157	75	54	47	90	211	243	168
El Trapiche	137	107	132	194	137	66	50	24	72	224	229	173
Jambalo	98	93	132	147	67	30	23	10	55	174	192	146
La Calera	161	104	172	148	128	63	38	31	76	211	277	201
Pitayo	137	119	202	189	131	42	31	22	58	236	237	182
Tacueyo	219	74	253	119	92	44	46	12	34	179	218	90
Tesorito	51	66	102	131	111	57	35	19	43	153	171	117
Tominio	161	122	182	180	141	73	50	34	82	254	247	224
Toribio	124	98	153	136	103	56	46	28	56	206	193	160
Mandiva	183	183	207	234	197	103	61	43	118	225	273	231
El Aguila	218	257	266	238	221	99	76	56	136	317	278	275
Samarkanda	253	256	289	408	352	224	146	133	253	383	364	287
Piendamo	240	187	215	258	150	67	42	29	60	246	284	279

Tabla II - 4 Precipitación mensual con probabilidad de excedencia del 75%. Norte del departamento del Cauca.

Nombre	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Cabuyal	36	25	96	127	86	22	15	12	45	84	100	43
Japio	59	92	122	162	104	39	24	12	38	157	179	116
Tunia	130	142	145	191	140	49	33	30	64	171	191	199
La Catalina	89	110	148	202	135	95	42	48	89	192	213	162
Venta de Cajibío	164	114	186	208	132	50	25	20	54	181	207	210
El Silencioso	78	85	142	219	257	128	69	46	148	262	219	151
Univ del Valle	49	56	101	152	117	55	33	18	50	115	119	68
Villa Rica	56	101	124	172	134	57	27	28	68	132	154	87
Miranda	48	82	101	156	83	36	28	11	73	158	117	93
Florida	67	57	101	159	101	22	23	10	80	145	147	88
La Salvajina	103	123	143	212	157	103	62	58	98	219	239	158
La Aguada	90	121	175	178	106	33	17	17	47	210	161	153
Suarez	106	140	150	207	173	107	54	46	103	213	231	167
Cenicana	34	32	85	122	72	23	15	8	65	70	92	49
Silvia Pta Electri	58	62	88	95	56	12	14	9	17	129	149	108
Morales	189	146	201	239	175	81	51	39	108	203	242	177
Ovejas Abajo Alert	120	141	204	166	125	52	35	37	67	187	217	133
Buenos Aires	93	132	204	212	196	82	55	52	114	218	237	161
Caloto	76	70	134	151	104	40	20	10	134	185	187	105
Mondomo	75	98	119	145	120	61	34	15	62	156	193	97
Cajones	69	44	99	102	84	38	33	21	29	122	159	93
Corinto	47	49	104	161	76	28	14	7	59	147	150	76
Rio Palo	75	97	137	191	136	65	26	11	60	208	179	132
Ingenio bengala	47	41	102	136	87	43	19	18	64	106	120	67
Ingenio Cauca	39	45	116	155	101	52	23	20	49	116	118	71
El Amparo	103	133	175	157	158	50	23	30	101	203	177	309
Japio	59	92	122	162	106	45	24	12	38	157	179	116
La Balsa	75	105	139	227	169	69	30	45	96	188	202	115
Pan de Azúcar	203	132	179	231	190	106	65	45	96	188	253	214
Planta Rio Cauca	20	22	88	90	101	34	11	9	37	78	91	49
Hacienda el Espejo	47	25	100	160	92	43	18	10	45	101	130	72
El Palacio	63	54	97	170	120	43	29	15	51	146	139	59
Ciat Quilichao	68	88	125	146	130	58	33	21	69	154	169	121
Mondomo	64	76	130	143	122	48	33	20	65	157	194	124
El Trapiche	64	71	104	143	82	46	19	5	44	181	181	129
Jambalo	52	47	78	79	45	11	8	0	23	123	108	68
La Calera	75	52	86	130	78	19	17	6	45	165	193	132
Pitayo	90	86	137	119	86	17	15	4	45	157	192	137
Tacueyo	176	85	92	154	105	9	12	0	75	184	238	127
Tesorito	32	48	57	96	67	33	20	7	22	102	133	79
Tominio	82	89	134	146	103	41	25	16	46	169	191	152
Toribio	58	65	105	108	80	32	24	18	32	162	158	104
Mandiva	93	118	176	151	132	64	26	22	88	180	180	136
El Aguila	106	109	211	184	145	67	42	29	90	213	217	144
Samarkanda	157	163	182	313	277	167	67	66	170	319	293	196
Piendamo	160	133	176	185	110	45	19	21	60	213	197	208

ANEXO III. CALCULOS ADICIONALES DE EVT

- Evapotranspiración potencial del Valle del Patía

Tabla III - 1 Evapotranspiración Potencial (Valle del Patía) - Eto (mm/mes). Método García y López

Estación	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Los Milagros	47.4	44.0	49.7	48.8	53.1	57.4	62.2	65.4	61.8	50.0	41.3	44.5
Gja Exp Univ Nariño	147.8	140.9	148.5	142.8	150.6	149.7	165.3	174.9	154.8	147.8	133.7	137.9
La Fonda Citec	144.8	140.0	147.6	137.0	140.6	143.0	172.8	195.0	177.8	154.8	135.4	137.0
Bolívar	96.9	91.5	101.9	93.9	99.5	108.0	127.7	141.2	121.3	100.9	84.0	89.1
Mercaderes	112.2	108.2	114.8	107.0	108.0	112.8	136.1	145.5	130.0	113.9	99.6	105.4
Paispamba	30.4	27.6	32.6	31.6	37.9	41.7	48.1	51.9	47.3	33.1	24.6	27.1
La Sierra	57.4	55.6	60.9	57.7	60.4	64.1	76.8	85.5	78.1	63.9	52.2	52.8
Valencia	11.8	12.5	14.0	12.7	14.0	8.5	5.1	4.4	7.1	9.5	11.3	11.7

Tabla III - 2 Evapotranspiración Potencial (Valle del Patía) - Eto (mm/mes). Fórmula de Thornthwaite Eto corregido

Estación	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Los Milagros	60.2	57.0	62.4	61.3	64.7	64.0	64.7	65.3	63.6	61.7	57.2	59.6
Gja Exp Univ Nariño	129.0	126.2	135.2	129.7	136.2	135.9	143.9	149.9	136.7	129.7	115.0	122.0
La Fonda Citec	126.8	124.1	133.1	126.1	129.0	127.0	146.1	162.6	152.2	135.0	118.0	119.8
Bolívar	80.9	76.7	85.0	80.9	84.7	85.0	92.5	97.6	90.1	82.2	74.1	77.2
Mercaderes	90.6	87.0	94.3	90.7	92.8	92.2	101.9	106.6	98.1	91.1	82.8	86.4
Paispamba	55.9	52.5	58.0	56.5	60.4	58.1	59.8	60.4	58.0	56.8	52.6	54.8
La Sierra	65.2	61.8	67.7	66.0	69.1	67.8	71.2	74.1	70.5	67.0	61.3	63.2
Valencia	52.3	49.5	54.1	52.7	54.6	49.8	48.7	48.1	47.9	51.5	51.2	52.8

- **Evapotranspiración potencial del Norte del Departamento del Cauca**

Tabla III - 3 Evapotranspiración Potencial (Norte del Cauca)- Eto (mm/mes). Método García y López

Estación	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Japio	121.0	115.7	122.8	114.5	116.6	112.8	125.5	131.0	121.4	116.6	107.8	115.7
Tunia	76.2	69.3	74.9	71.1	72.7	74.5	82.2	88.9	80.9	74.6	68.1	70.4
Lomitas	127.3	120.8	126.4	118.8	123.7	121.4	131.9	132.8	128.6	121.0	118.0	121.9
Venta de Cajibío	67.3	63.0	68.1	64.6	68.8	72.0	80.0	83.0	73.8	65.7	62.4	64.5
Univ del Valle	139.4	131.3	138.5	125.9	130.1	127.7	143.2	153.0	141.4	131.9	121.4	130.1
Miranda	114.8	108.2	115.6	108.6	109.6	110.3	117.4	122.8	112.8	111.4	105.3	112.2
Cenicaña	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
La Salvajina	123.6	113.1	122.7	112.8	109.7	113.6	135.1	137.1	123.9	113.9	112.8	113.1
Ing Bengala	120.0	114.8	120.9	113.6	118.2	116.2	125.5	127.3	120.6	118.3	112.7	117.4
Ing Cauca	120.9	113.9	121.1	112.1	116.2	112.6	122.3	126.8	117.3	115.7	106.4	115.0
La Novillera	130.3	123.3	127.8	119.5	122.7	118.8	126.9	132.2	125.9	120.1	112.5	121.3
Ciat Quilichao	129.2	122.4	128.6	118.5	121.2	120.7	135.1	140.4	127.1	120.7	113.7	122.6
Mandiva	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Samarkanda	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Tabla III - 4 Evapotranspiración Potencial (Norte del Cauca) Fórmula de Thornthwaite Eto corregido

Estación	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Japio	99.1	94.3	102.5	99.0	100.4	97.6	102.8	105.3	98.5	96.5	90.7	96.7
Tunia	72.0	66.9	72.5	70.7	72.6	72.1	76.5	78.9	73.5	71.0	67.0	69.0
Lomitas	104.2	97.9	103.9	99.1	104.2	101.4	108.1	109.5	104.9	98.9	96.4	99.1
Venta de Cajibío	68.5	64.3	69.7	68.0	71.3	70.7	74.2	75.7	69.1	67.6	65.1	67.0
Univ del Valle	107.0	101.9	109.5	103.1	107.2	104.2	112.6	118.3	109.2	102.8	95.3	101.7
Miranda	98.3	93.6	100.5	96.0	98.5	97.0	102.1	104.6	96.6	94.7	90.0	94.8
Cenicaña	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
La Salvajina	97.1	88.1	96.8	93.4	92.3	93.0	100.4	102.7	96.3	92.3	92.2	92.6
Ing Bengala	101.7	96.9	104.1	99.3	104.4	101.6	107.0	107.0	101.3	100.3	96.6	100.5
Ing Cauca	99.4	93.5	100.5	94.8	99.6	96.9	102.0	104.5	96.6	95.7	89.9	95.9
a Novillera	109.6	103.4	107.8	102.5	107.9	103.9	107.3	112.0	107.0	101.2	94.6	102.2
Ciat Quilichao	102.2	97.2	104.9	99.9	103.5	100.7	105.7	109.1	99.3	97.0	92.2	98.5
Mandiva	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Samarkanda	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

ANEXO IV. MAPAS DE ANÁLISIS TEMPORAL DE LOS BALANCES HÍDRICOS

• Valle del Patía

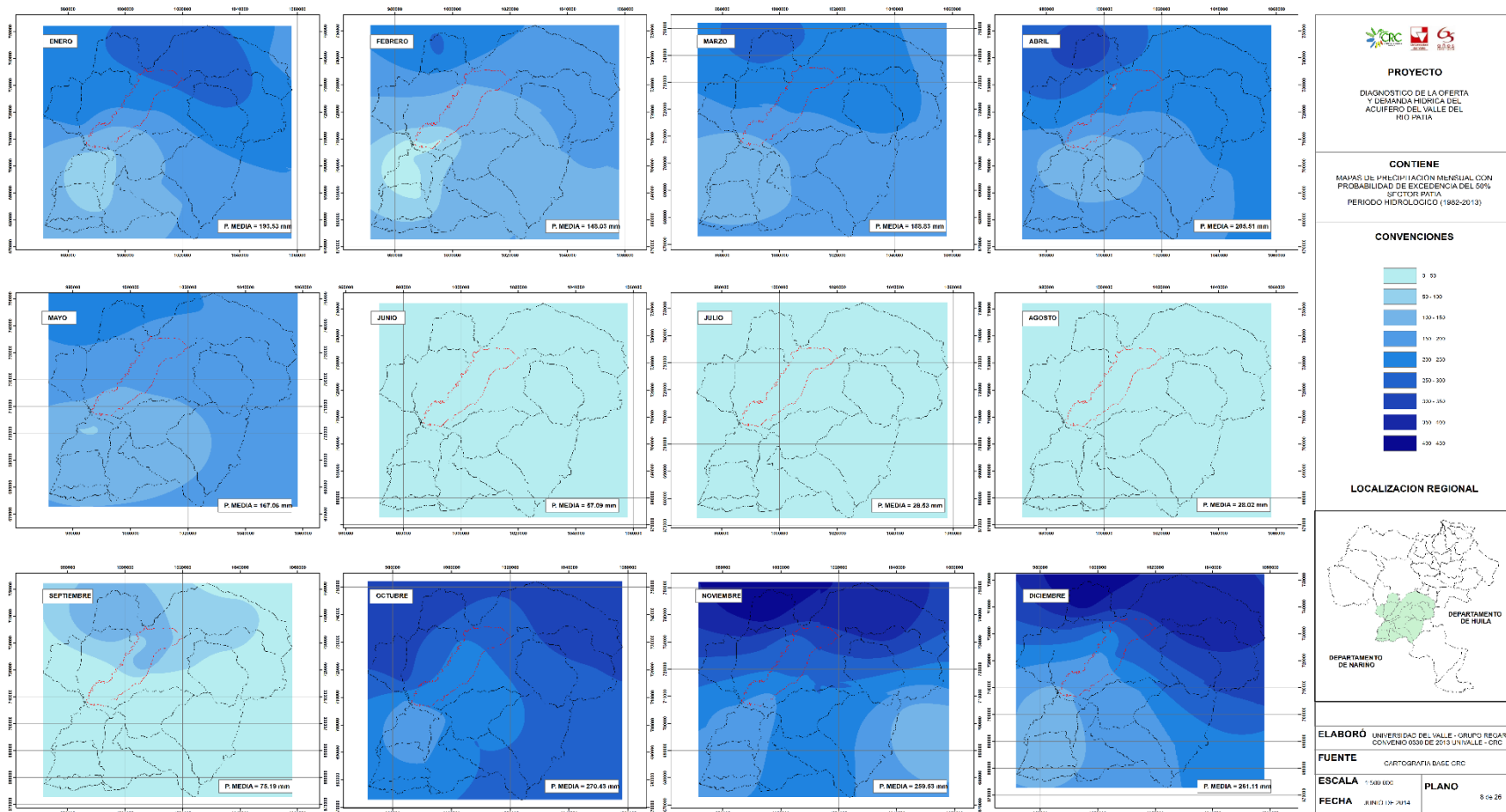


Figura IV- 1 Análisis temporal de la precipitación con probabilidad de excedencia del 50%. Valle del Patía
Fuente: Convenio interadministrativo 0330 de 2013. CRC- Universidad del Valle. Diagnóstico de la oferta y

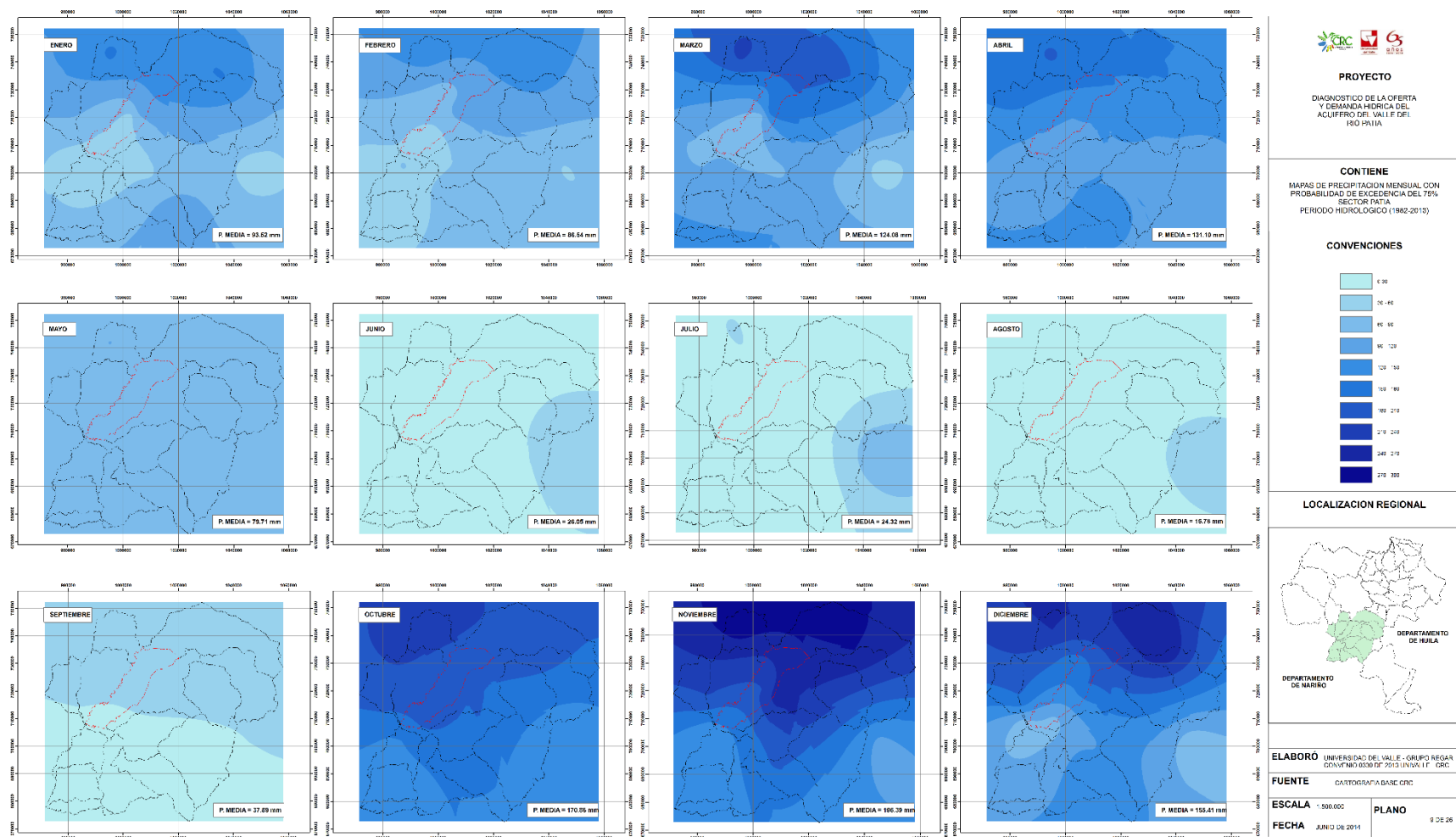


Figura IV - 2 Análisis temporal de la precipitación con probabilidad de excedencia del 75%. Valle del Patía
Fuente: Convenio interadministrativo 0330 de 2013. CRC- Universidad del Valle.

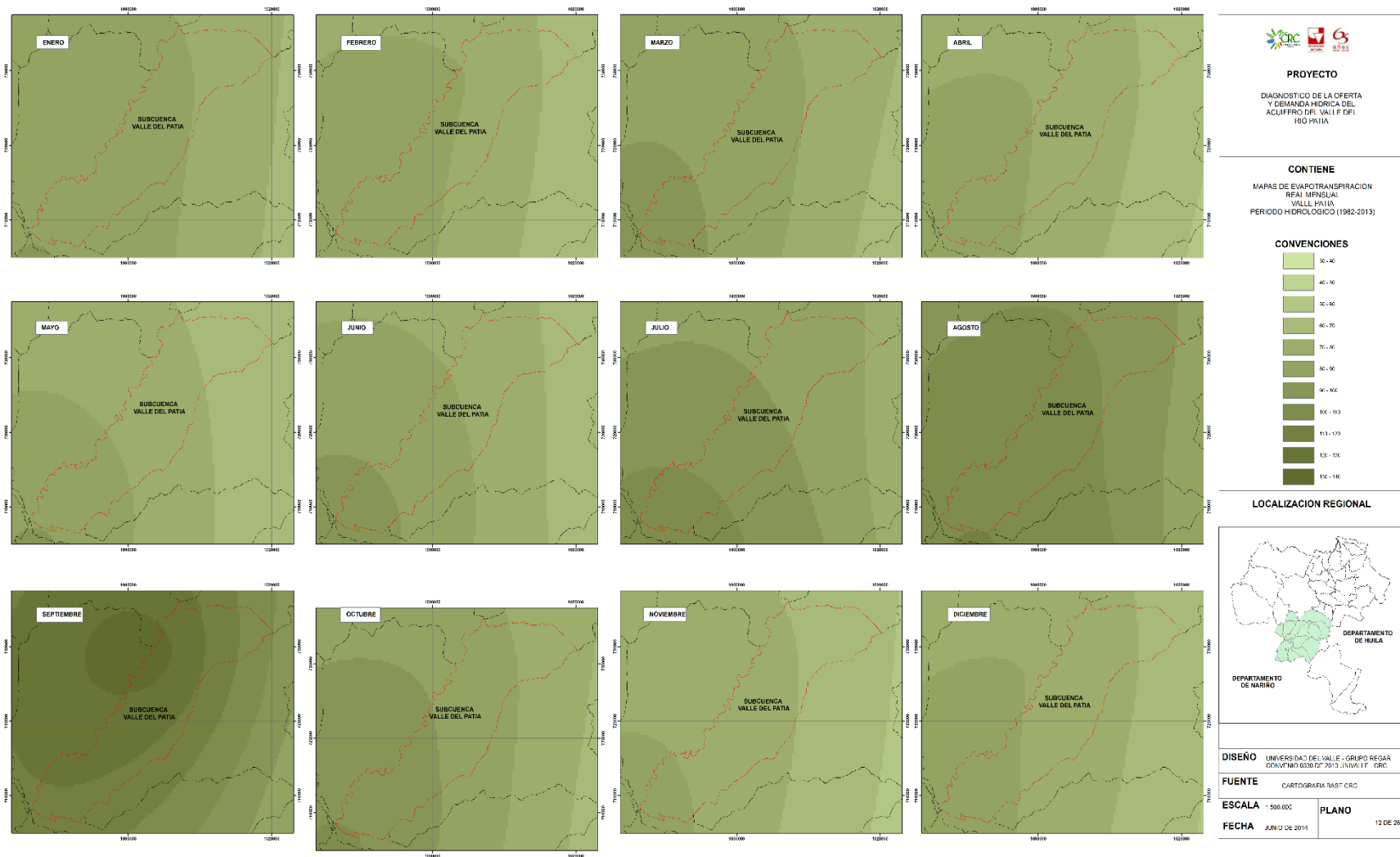


Figura IV - 4 Análisis temporal de la Evapotranspiración Real. Valle del Patía
Fuente: Convenio interadministrativo 0330 de 2013. CRC- Universidad del Valle.

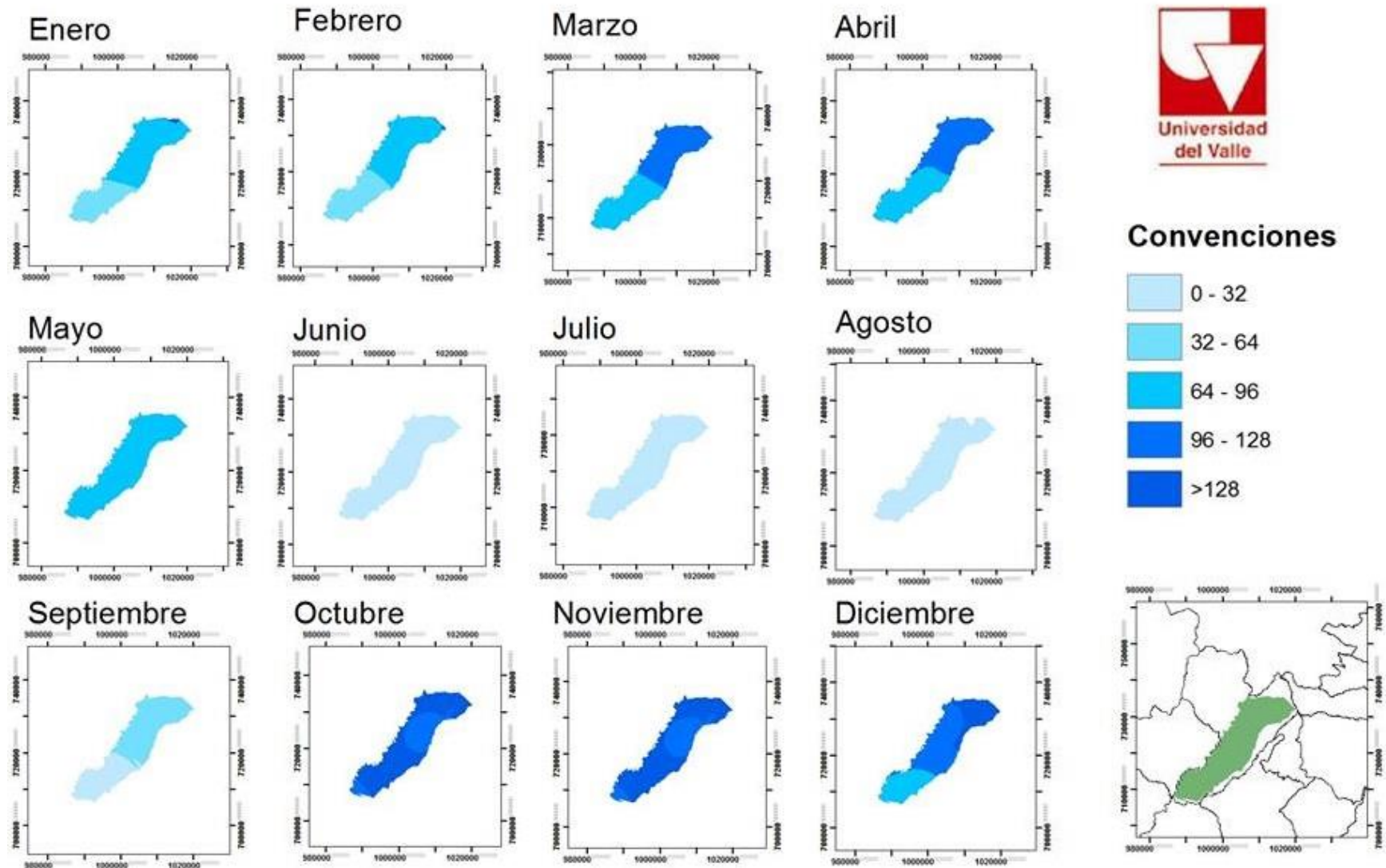


Figura IV - 5 Análisis temporal de la precipitación efectiva. Valle del Patía

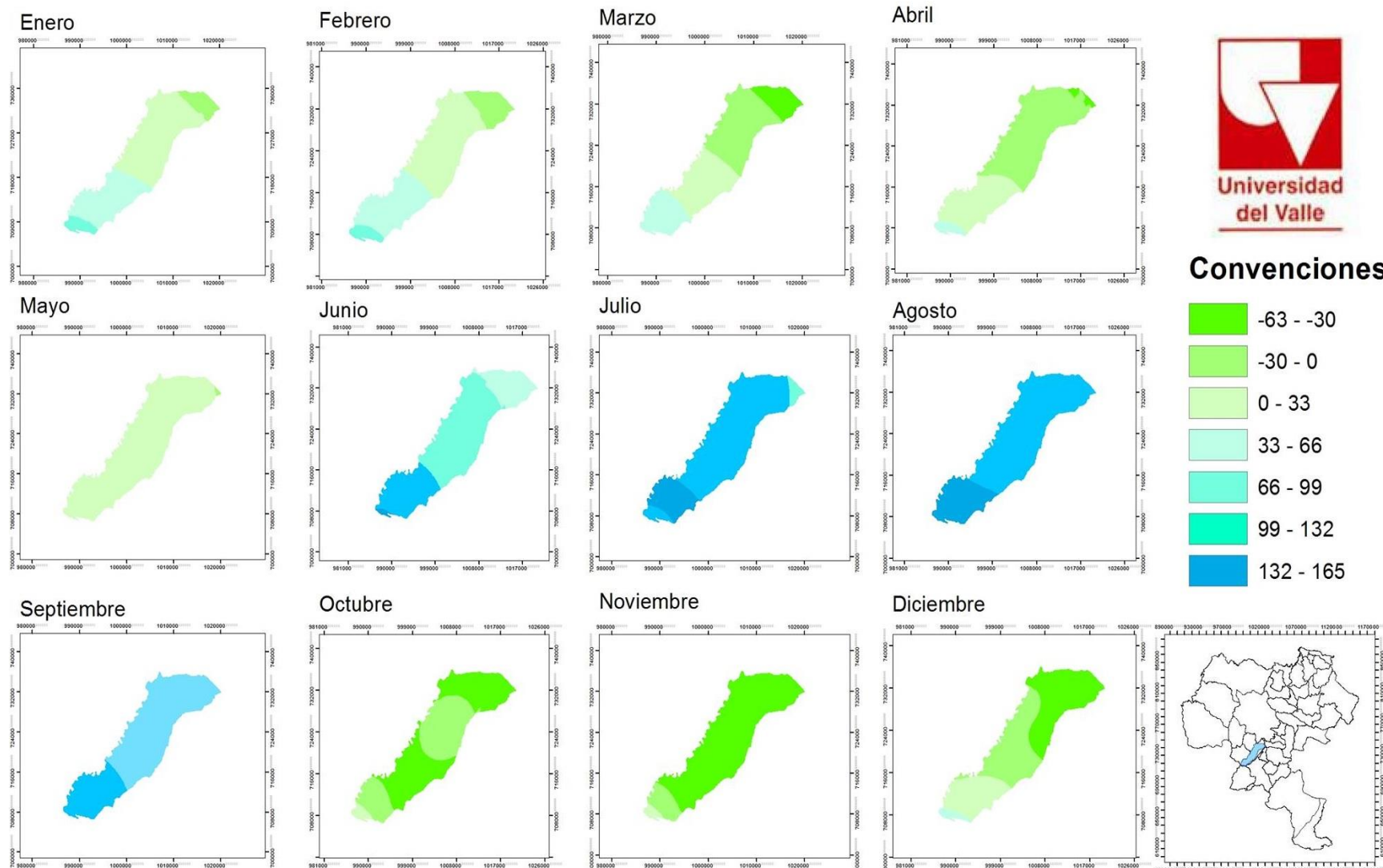


Figura IV - 6 Análisis de la necesidad de riego. Aporte de agua de riego Valle del Patía

- Norte del Departamento del Cauca

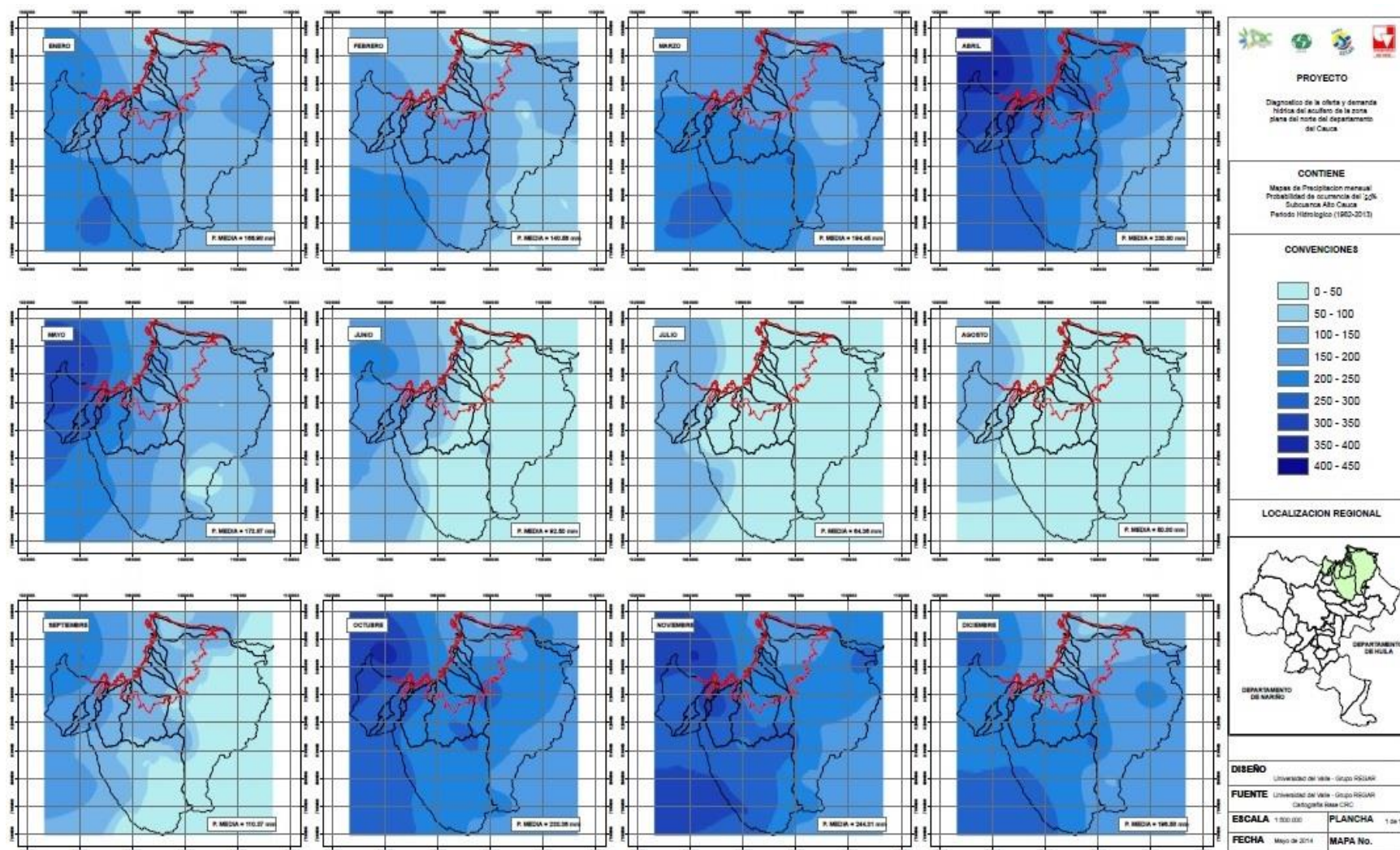


Figura IV - 7 Análisis temporal de la precipitación con probabilidad de excedencia del 50%. Norte del Departamento del Cauca
Fuente: Convenio interadministrativo 0330 de 2013. CRC- Universidad del Valle.

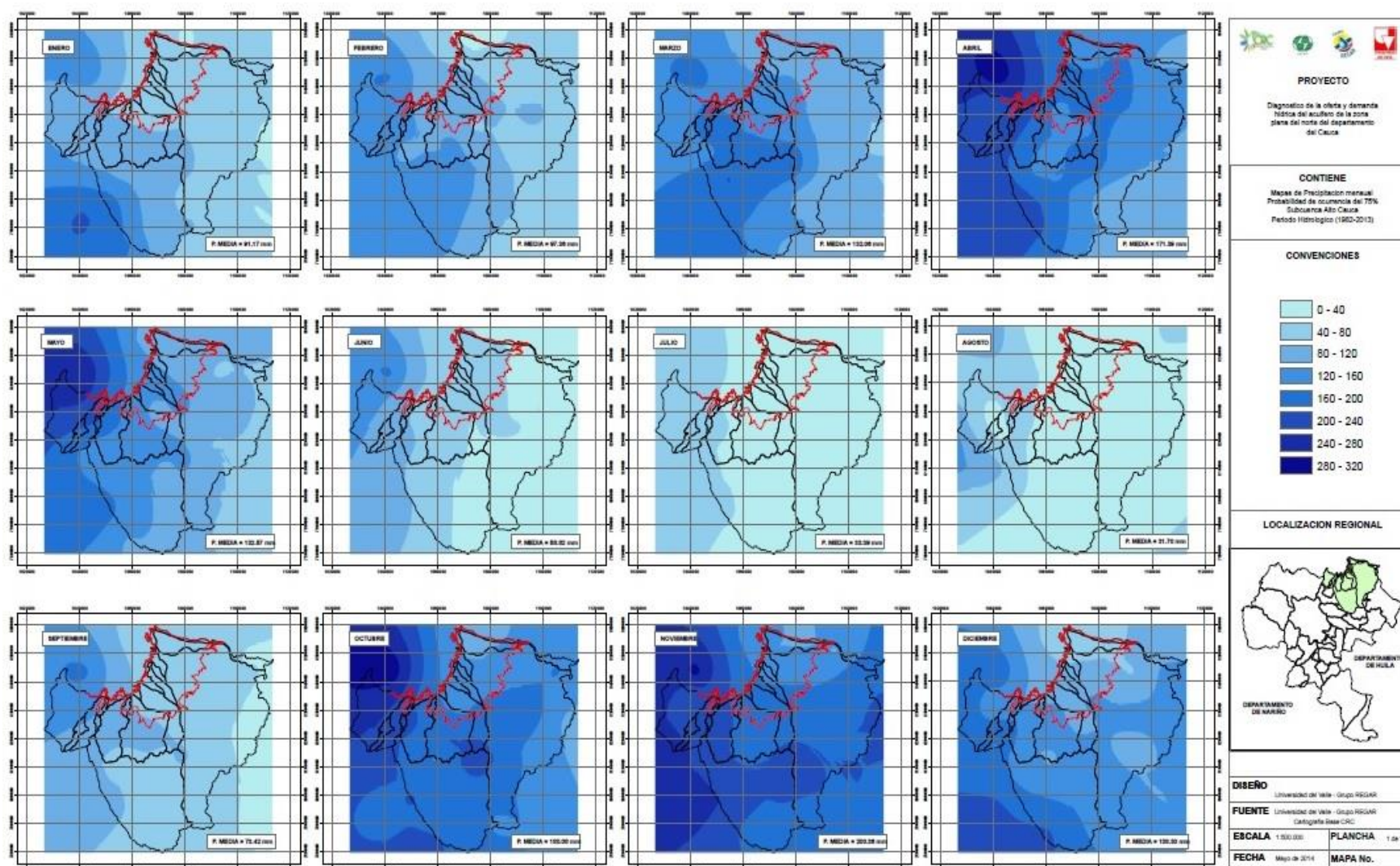
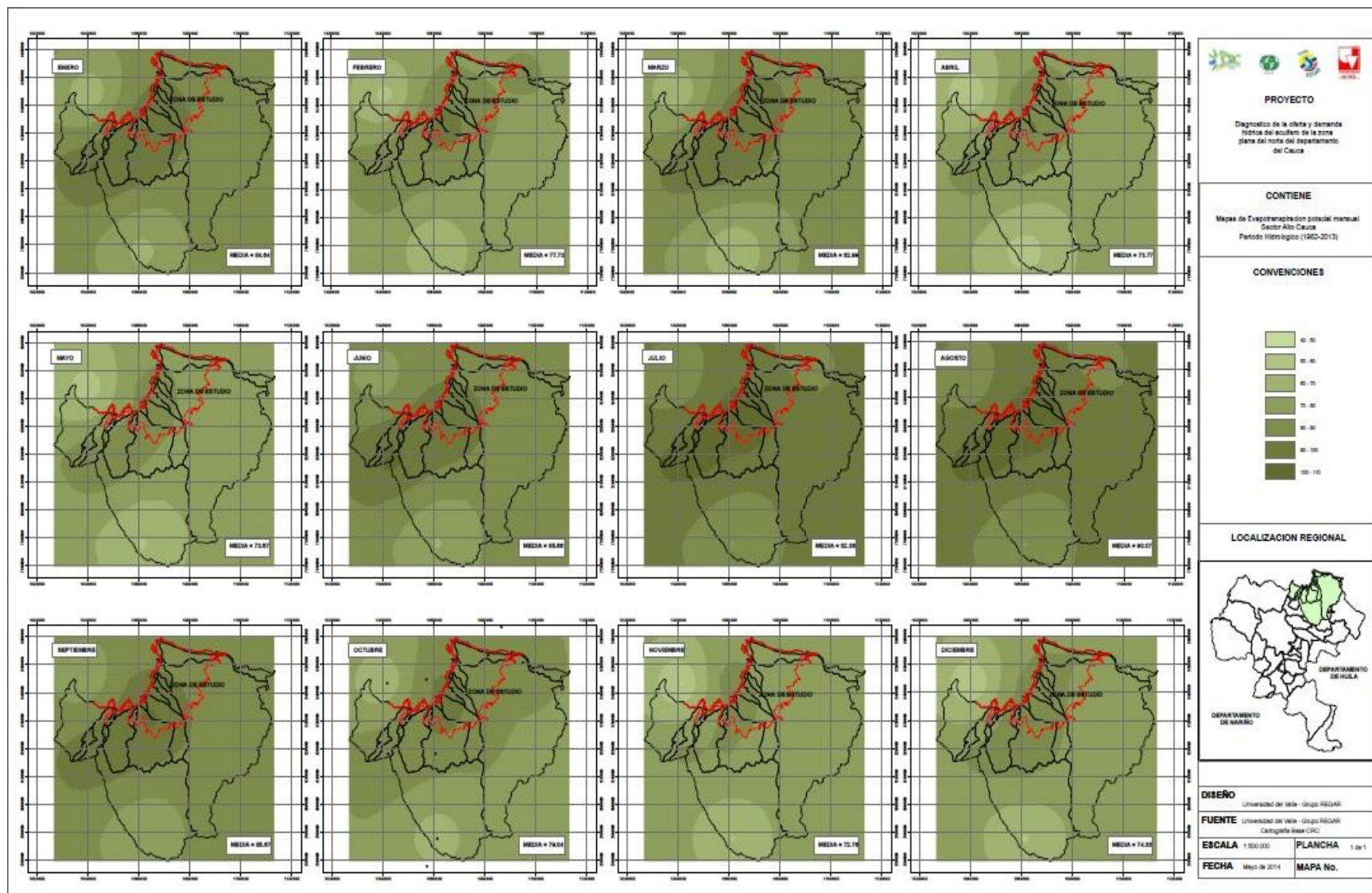


Figura IV - 8 Análisis temporal de la precipitación con probabilidad de excedencia del 75%. Norte del Departamento del Cauca
Fuente: Convenio interadministrativo 0330 de 2013. CRC- Universidad del Valle.



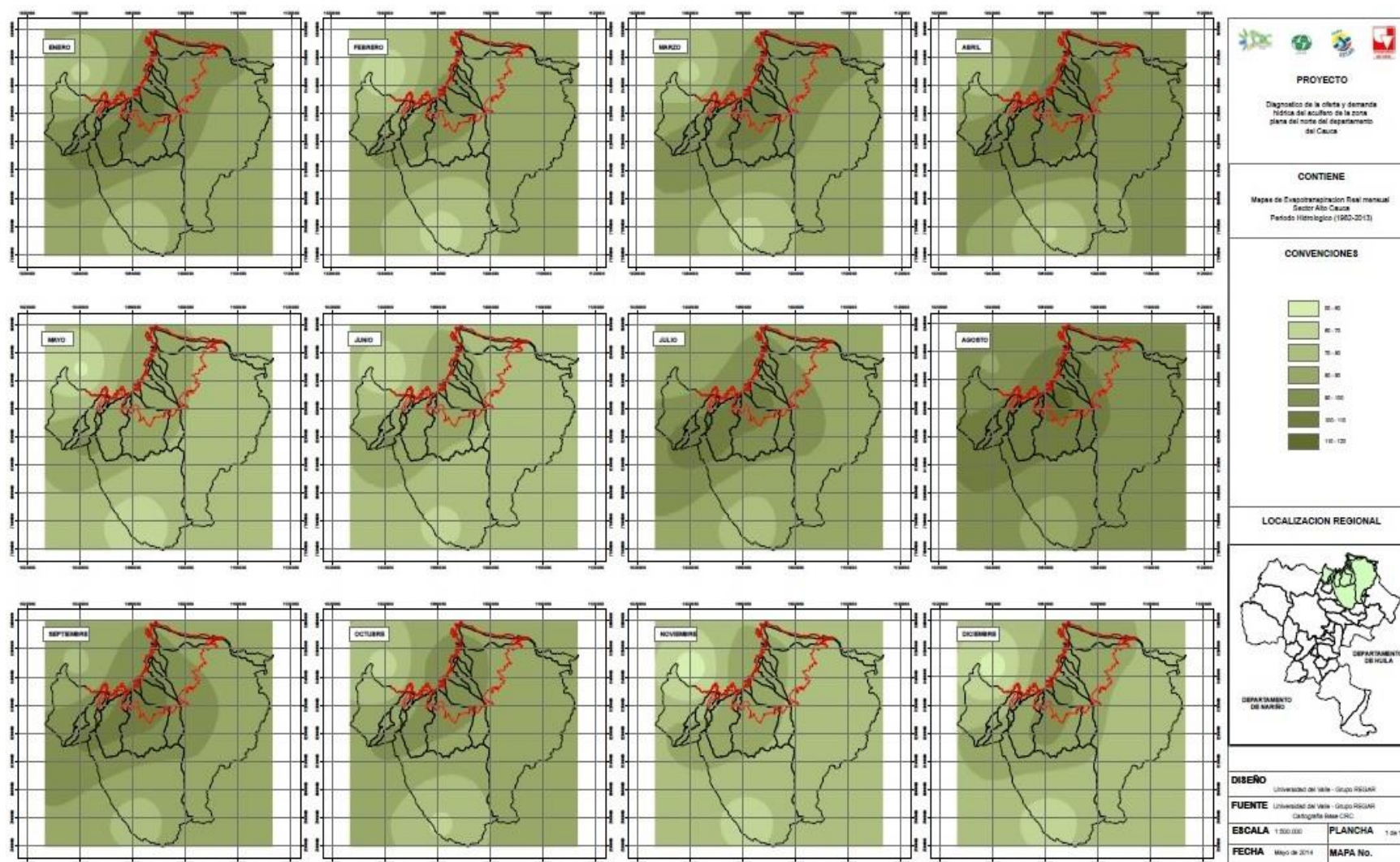
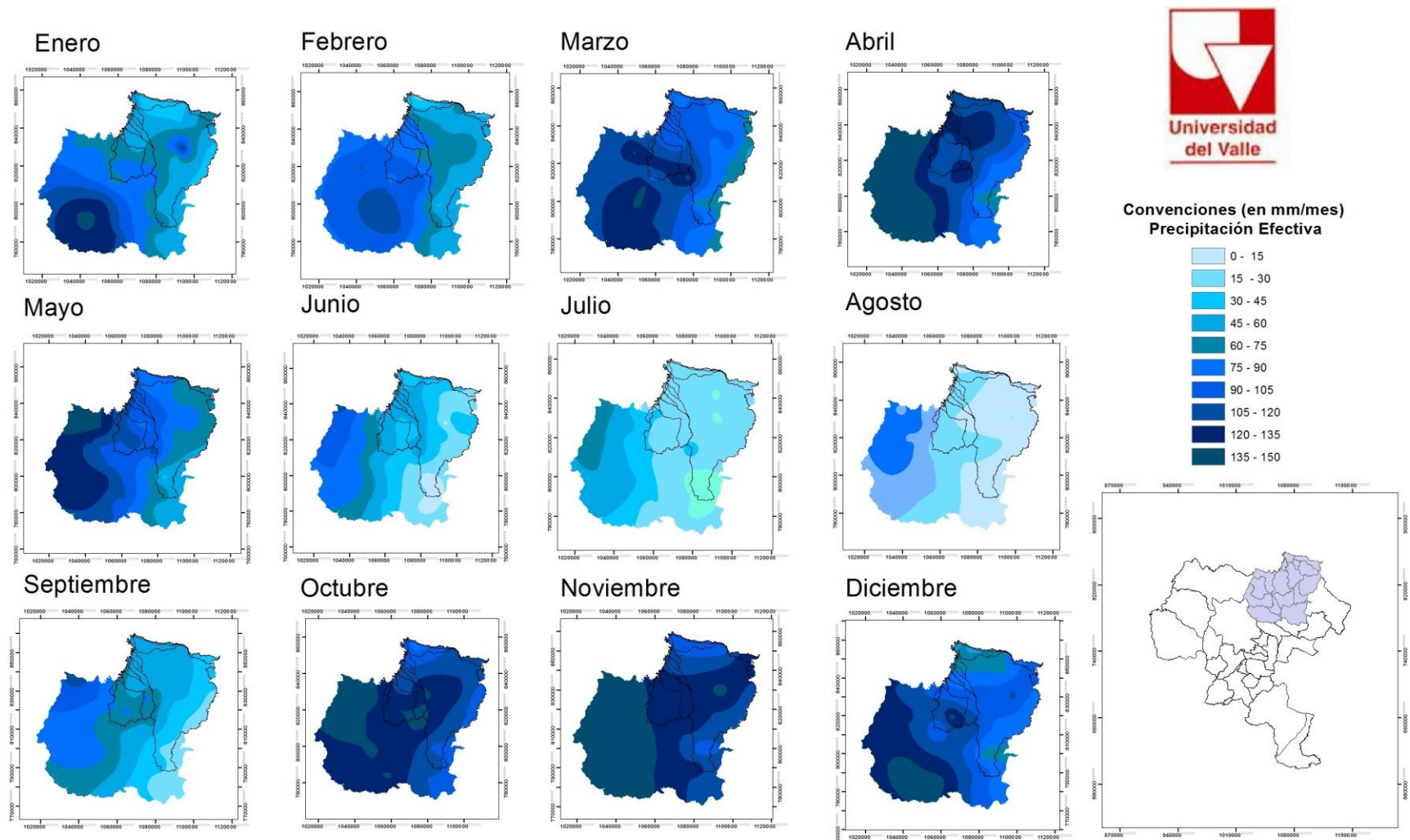


Figura IV - 10 Análisis temporal de la Evapotranspiración Real. Norte del Departamento del Cauca

Fuente: Convenio interadministrativo 0330 de 2013. CRC- Universidad del Valle.



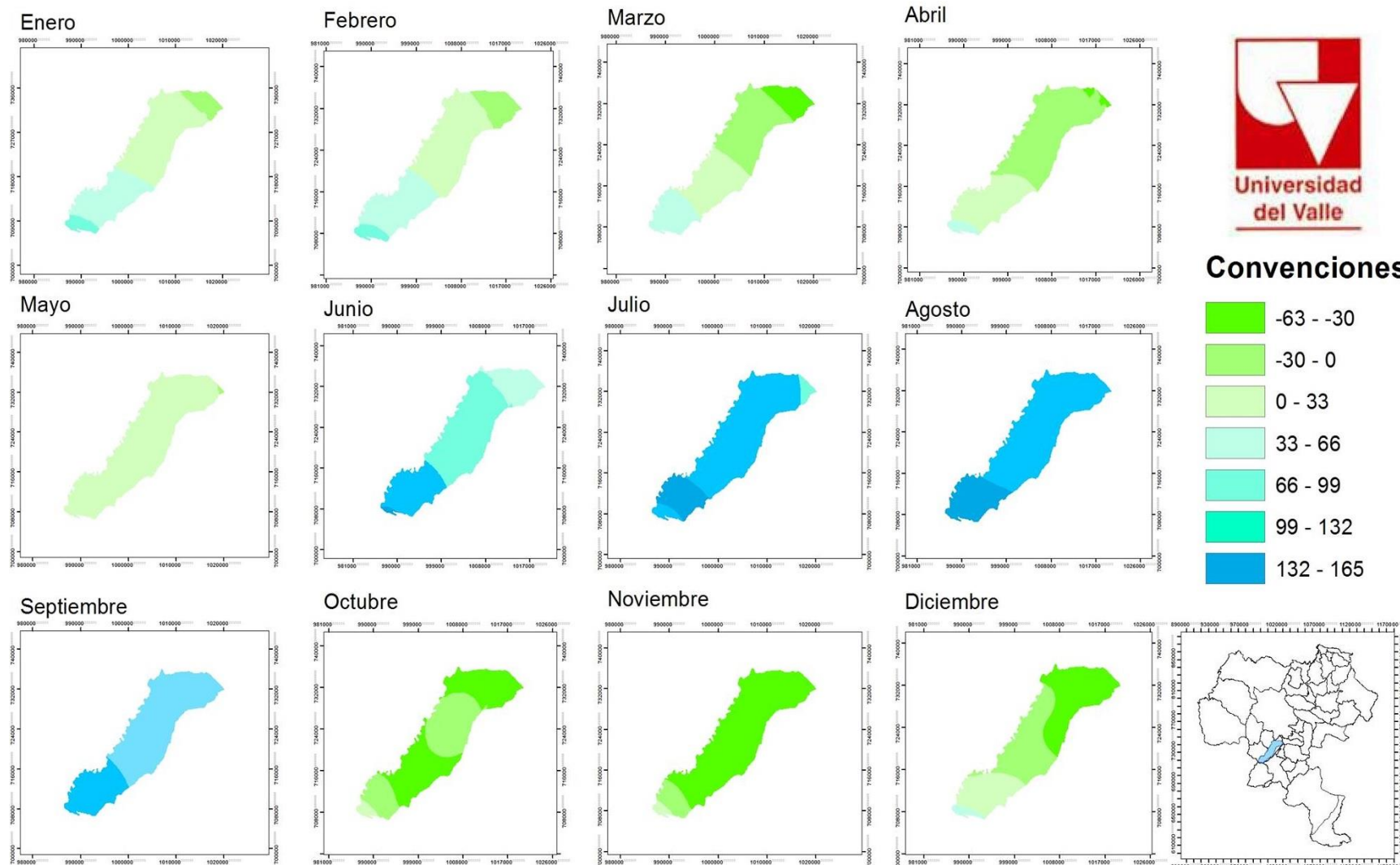


Figura IV - 12. Análisis temporal de la necesidad de riego. Aporte de agua de riego Norte del Departamento del Cauca

ANEXO V. MAPAS DE ANALISIS BALANCE HÍDRICO EN AÑOS NIÑO

- Valle del Patía

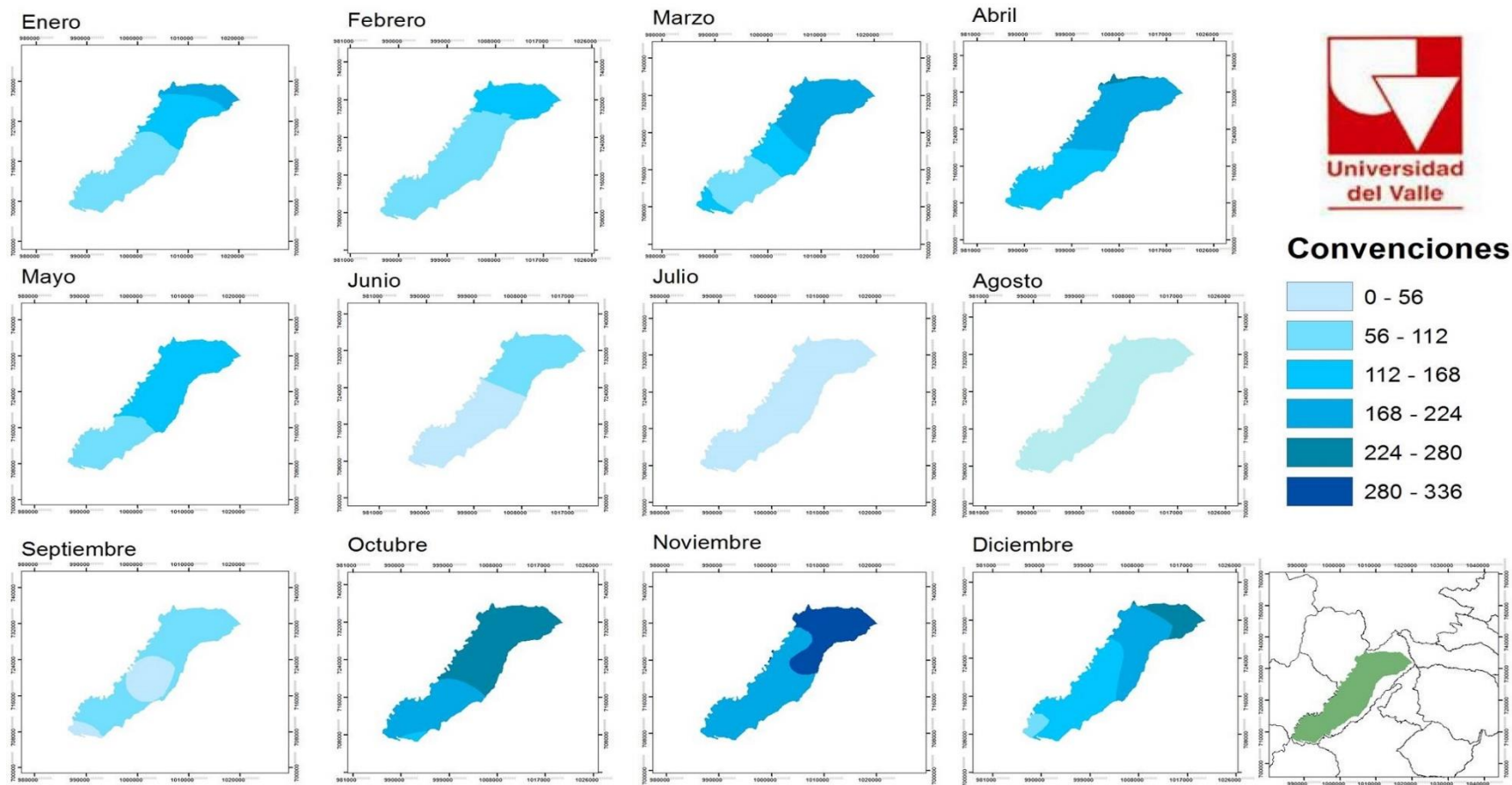


Figura V - 1 Análisis temporal de la precipitación con probabilidad de excedencia del 50% en años niño. Valle del Patía

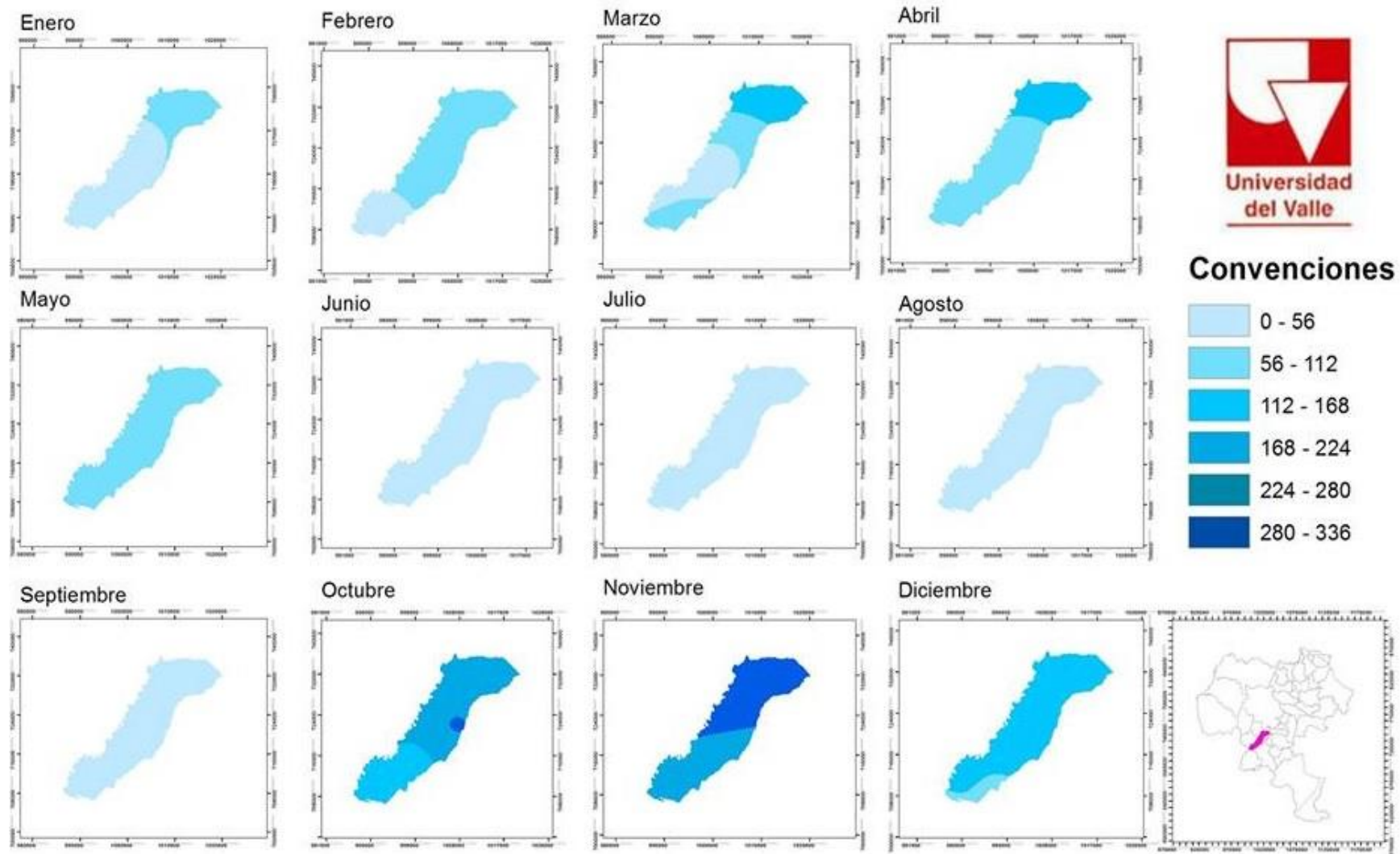


Figura V - 2 Análisis temporal de la precipitación con probabilidad de excedencia del 75% en años niño. Valle del Patía

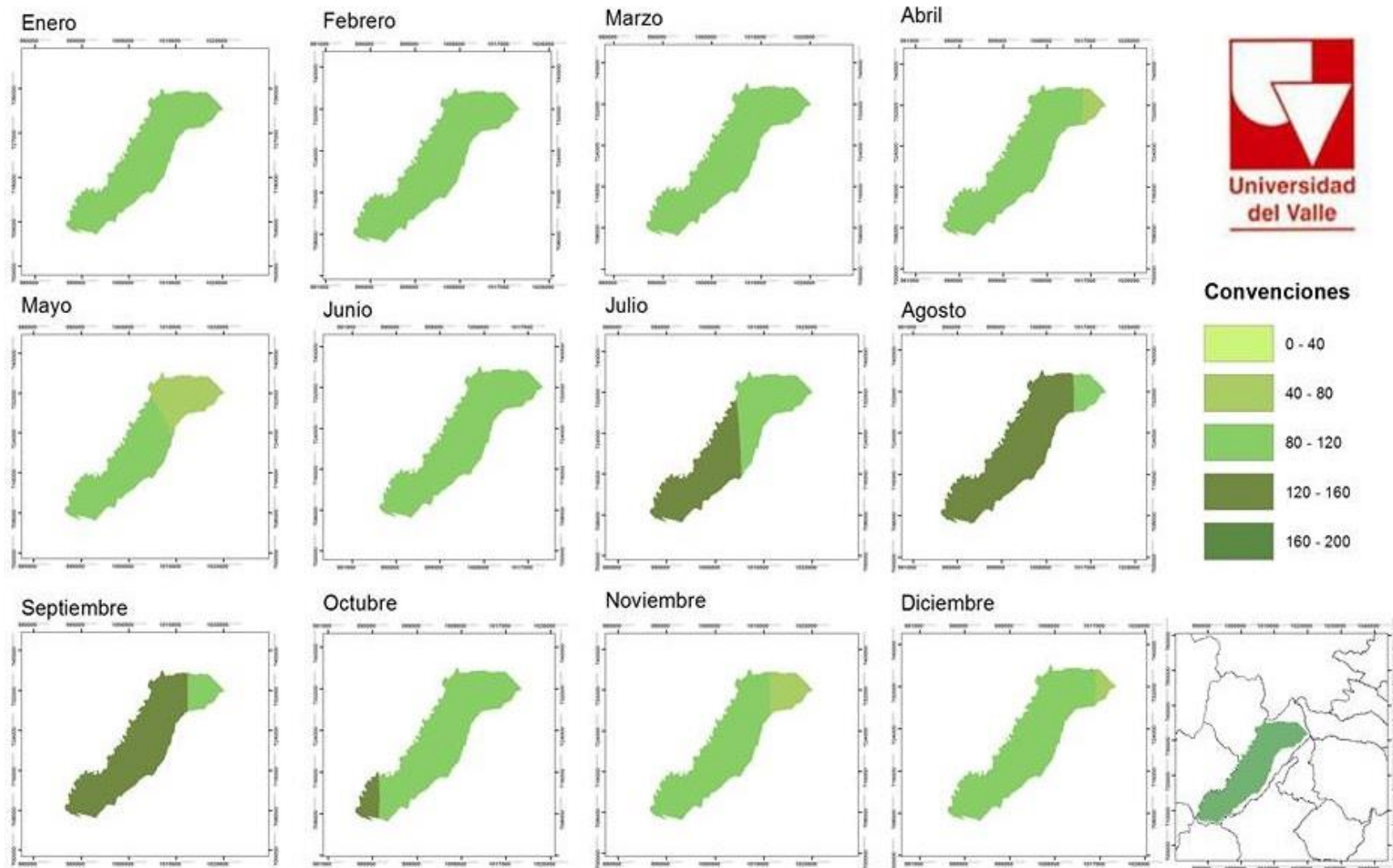


Figura V – 3 Análisis temporal de la Evapotranspiración Real. Valle del Patía.

- Norte del Departamento del Cauca

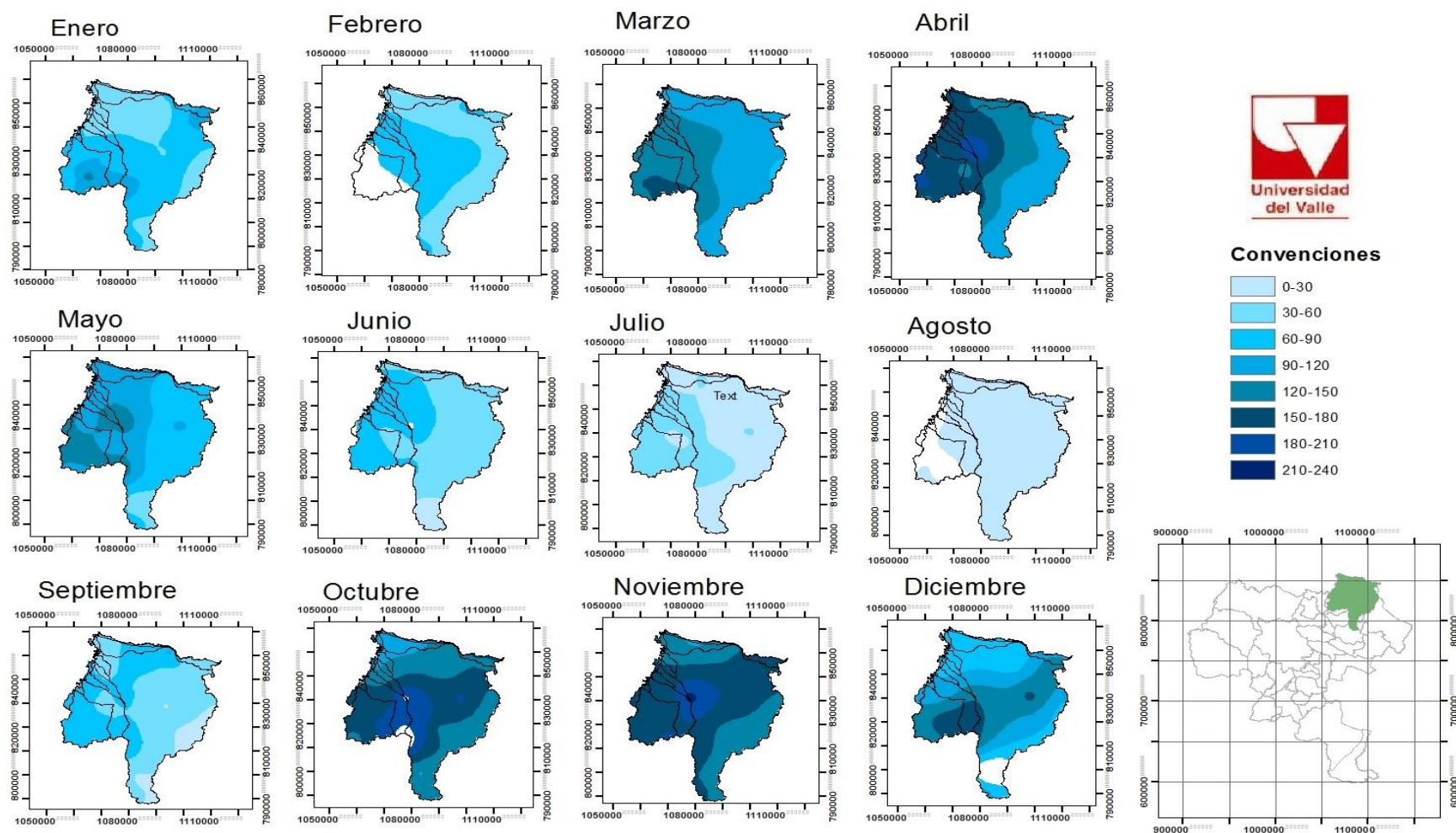


Figura V - 4 Análisis temporal de la precipitación con probabilidad de excedencia del 50% en años niño. Norte del Departamento del Cauca

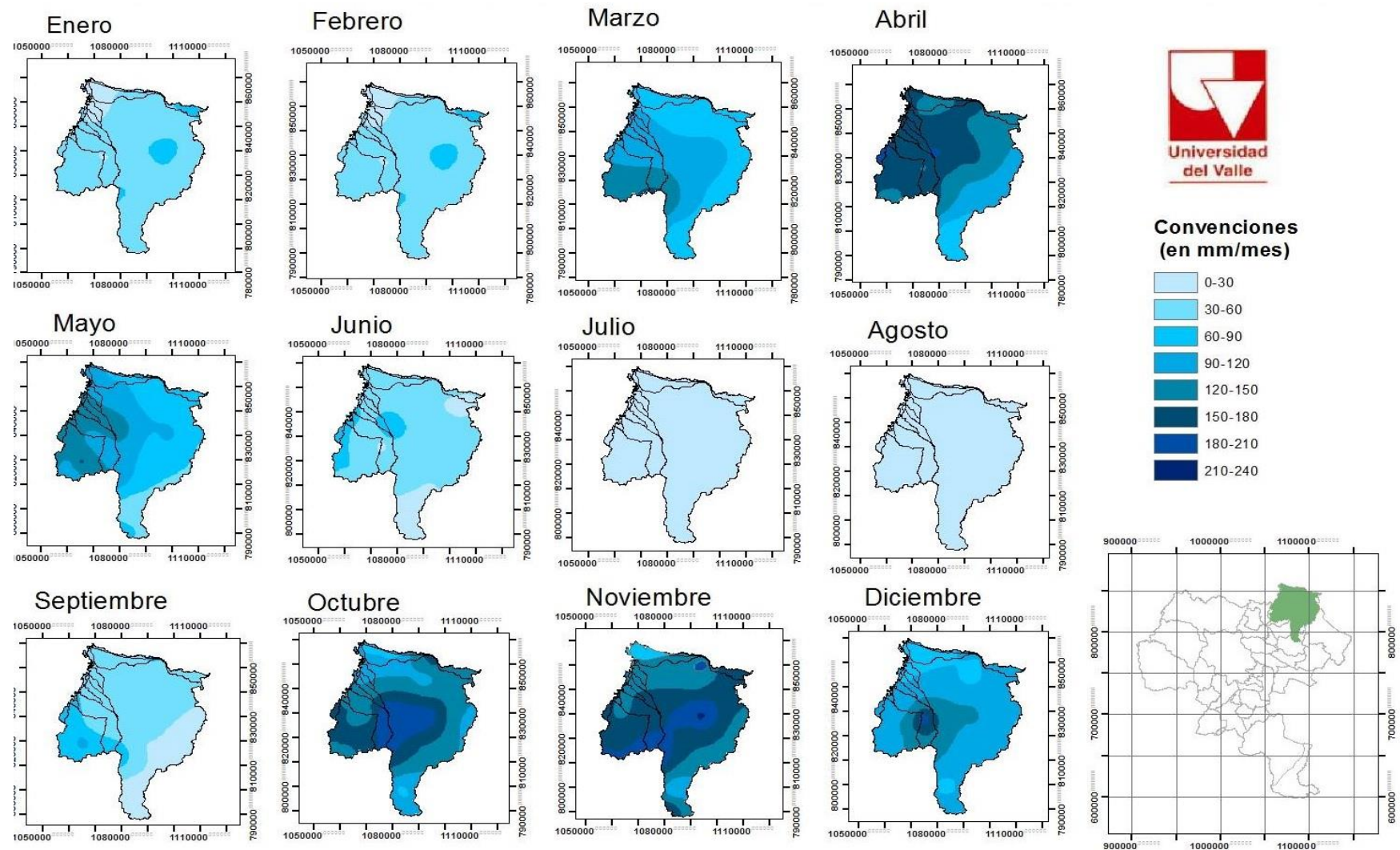


Figura V - 5 Análisis temporal de la precipitación con probabilidad de excedencia del 75% en años niño. Norte del Departamento del Cauca

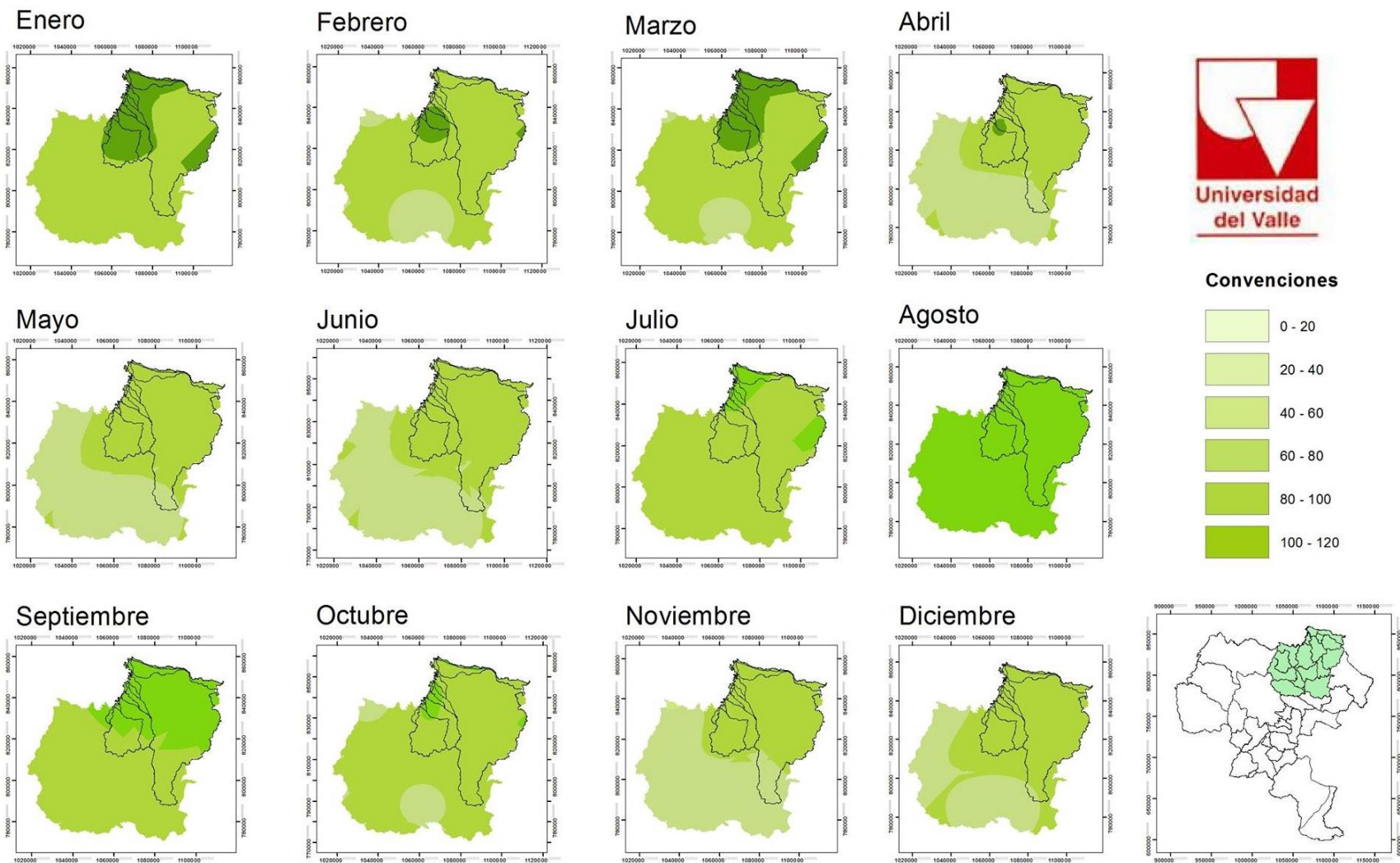


Figura V – 6 Análisis temporal de la Evapotranspiración Real. Norte del Departamento del Cauca